LA CORRIENTE ALTERNA

TESLA

La electricidad tiene un doble sentido



NATIONAL GEOGRAPHIC

NIKOLA TESLA fue un visionario, muchas de cuyas ideas se adelantaron cien años a su aplicación. A pesar de ser el inventor del motor de corriente alterna que llevó la electricidad a los hogares y las fábricas del siglo XX, este inventor y científico serbio-estadounidense murió en la miseria e inadvertido por la historia. Son innumerables los inventos y descubrimientos en los que trabajó, tales como el control remoto, el avión de despegue vertical o la lámpara sin filamentos; desarrolló asimismo los principios del radar, fue el precursor de la radioastronomía e incluso experimentó con la criogenia. Su proyecto soñado fue transmitir energía eléctrica e información a cualquier rincón del planeta sin necesidad de cables; una idea utópica que le acabó costando la fortuna y la reputación.

LA CORRIENTE ALTERNA

TESLA

La electricidad tiene un doble sentido

NATIONAL GEOGRAPHIC

MARCOS JAÉN SÁNCHEZ es periodista y divulgador. Ha trabajado como guionista de radio y televisión en programas de difusión de la cultura, indistintamente en los ámbitos científico y humanístico. Es colaborador habitual en medios audiovisuales, radiofónicos y escritos.

Revisión científica realizada por la Dra. GEMMA RIUS, profesora adjunta en el Nagoya Institute of Technology (Nagoya, Japón).

Realización: EDITEC

Diseño cubierta: Llorenç Martí

Diseño interior: Luz de la Mora

Infografías: Joan Pejoan

Fotografías: Archivo RBA: 31, 39, 43ai, 75a, 75b, 106; Biblioteca del Congreso de Estados Unidos: 67; Biblioteca Pleyades: 140; Biblioteca y Museo Morgan: 71; Victor Daireaux: 50; Getty Images: 43bi; iStockphoto: 32; Liberty Magazine: 163bi; Nikola Tesla Website: 163bd; Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos: 112-113; Picture History: 159; Napoleon Sarony: 109ai; Tesla Memorial Society of New York: 43ad, 109ad; Tesla Universe: 43bd, 103, 109b, 120, 123a, 123b, 163ai; Time Magazine: 163ad.

ISBN: 978-84-473-7678-0
Depósito legal: B-13293-2016

Impreso y encuadernado en Rodesa, Villatuerta (Navarra)

Impreso en España - *Printed in Spain*

Sumario

Introducción

El inventor de origen serbio Nikola Tesla encarna el mito trágico del campeón de la verdad que se ve obligado a enfrentarse en solitario a enemigos monstruosos, el arquetipo de héroe que se alza contra los dioses en beneficio de la humanidad, y acaba siendo aniquilado por su osadía y excluido de la memoria de su tiempo. Esta leyenda está equilibrada por el catálogo de fobias estrambóticas que también se le atribuyen. La rebeldía de Tesla es el ideal ético del investigador científico. Su luz despuntó a finales del siglo XIX, durante la segunda Revolución industrial, un período dominado por los magnates de la industria y grandes banqueros que sentaron las bases del capitalismo. El resplandor ganó intensidad a medida que la electricidad tomaba el relevo de la máquina de vapor para acabar de perfilar el mundo moderno.

El proceso que llevó a la universalización de la electricidad es un ejemplo de la unión indisoluble de la ciencia y la tecnología. El estudio fundamental de la electricidad fue paralelo y estuvo necesariamente ligado al desarrollo de soluciones prácticas para generarla, almacenarla o transportarla. Tesla surgió cuando la electricidad era aún un fenómeno novedoso y mostró muy pronto una intuición asombrosa para comprenderla y explotarla. Estados Unidos, su futuro país de adopción, acababa de dirimir sus conflictos en una sangrante guerra civil cuando el joven apenas completaba su formación en Europa y pergeñaba sus primeros

proyectos, inmaduros aunque ya visionarios. La suya era una figura mixta muy propia de aquellos tiempos: era, al mismo tiempo, un científico y un ingeniero.

Aunque la electricidad ya llevaba la luz a las calles de algunas ciudades, movía tranvías e iluminaba magníficas mansiones, el alcance de su verdadero potencial era todavía desconocido. Las primeras instalaciones eléctricas se realizaron utilizando corriente continua (CC), que es aquella que circula siempre en un mismo sentido y su voltaje es constante en el tiempo. Pero este sistema resultó insuficiente para alimentar grandes redes y satisfacer a una industria epidémicamente necesitada de nuevas soluciones para seguir el ritmo de crecimiento que el momento propiciaba. A pesar de las limitaciones de la corriente continua, su máximo valedor era el mismísimo Thomas Alva Edison, que había invertido millones de dólares en instalaciones de corriente continua y estaba convencido de que sus bombillas —una evolución de la lámpara incandescente patentada por Joseph Wilson Swan en 1878— no funcionarían con otro sistema. A pesar de ello, algunos ingenieros y empresarios del sector, como George Westinghouse, se habían percatado de las posibilidades que ofrecía la corriente alterna y trabajaban con ella, aunque los resultados todavía eran parciales; aún no se había diseñado un motor accionado por corriente alterna que fuera eficaz. En la corriente alterna (CA) el sentido y la magnitud de la corriente varían de modo cíclico, según una función periódica del tiempo. Por su propia naturaleza variable, admite con facilidad la clase de alteraciones en sus valores que exige una red eficiente de distribución de energía.

En esa encrucijada, un inmigrante europeo desconocido arribó a la Tierra Prometida con unos pocos centavos y algunas ideas esbozadas en unos papeles arrugados en el bolsillo. En Europa, aquel joven había vislumbrado, en una especie de revelación, el principio del campo magnético rotatorio, un concepto que le permitiría diseñar un motor de inducción de una gran sencillez y eficiencia. Nikola Tesla era, por tanto, el mago que dominaba la única alternativa de futuro para la explotación masiva de la electricidad: la corriente alterna. Con la ayuda de Westinghouse, desarrolló la red eléctrica tal y como se conoce hoy día, mientras

el gigante Edison planteaba un combate durísimo y deshonesto, la conocida como «guerra de las corrientes».

El éxito indudable de la corriente alterna convirtió a Tesla en un profeta, pero pocos conocían los sacrificios que se había visto obligado a hacer para salir adelante. Era un titán en el laboratorio pero un desastre en los negocios. Confiaba tan ciegamente en la validez de sus intuiciones que no dudaba de que, de uno u otro modo, el futuro le proveería de todo aquello que le fuera necesario. Sin embargo —y quizá precisamente a causa de esa fe ciega—, sus erróneas decisiones empresariales y financieras lastraron gravemente su carrera.

Su período de esplendor fue la última década del siglo XIX, cuando pudo aprovechar el crédito acumulado para explorar desarrollos tecnológicos basados en la nueva frontera de la ciencia, las ondas electromagnéticas, cuya existencia había probado experimentalmente Heinrich Rudolf Hertz en 1887, según la teoría de James Clerk Maxwell. Fue una época frenética, la más productiva y fascinante de la vida de Tesla; en ella desarrolló ideas y proyectos tan adelantados para su tiempo que no siempre fueron comprendidos por sus contemporáneos, y quizá tampoco por él mismo de forma absoluta. También fue un tiempo de gran dispersión. Desoyendo los sabios consejos de algunos amigos, apuntó en tantas direcciones a la vez y a tal velocidad que a menudo no tenía tiempo de estudiar y documentar adecuadamente sus hallazgos, y mucho menos de patentarlos. En los siguientes años, aquella pasmosa acumulación de descubrimientos daría lugar a ingenios esenciales e incluso contribuiría a las ramas de la ciencia emergentes, cuyos beneficios fueron recogidos con frecuencia por otros. Aún hoy es posible remontarse hasta el trabajo de Tesla en aquellos días cuando se intenta hallar el origen de muchos principios básicos e inventos de la ciencia y la tecnología que parecen radicalmente actuales.

Los experimentos de aquella década prodigiosa acabaron resultando demasiado peligrosos para llevarlos a cabo cerca de núcleos de población. Tesla tuvo que proseguir su trabajo en su legendario retiro en Colorado Springs, al pie de las montañas Rocosas. Allí construyó una estación a medida y, durante varios meses,

llevó a cabo una serie de experimentos decisivos, por primera vez detalladamente documentados. Aquel período le llevó a descubrimientos fundamentales, como el de las ondas electromagnéticas estacionarias de la Tierra. Al final había recabado la experiencia necesaria para atreverse a dar el salto más osado de su carrera, la auténtica obsesión de su vida. Diseñar un sistema mundial de transmisión inalámbrica de información y energía eléctrica fue el proyecto definitivo con que pretendía dejar pequeño su hito de la corriente alterna.

Para conseguir el capital necesario, Tesla sedujo, y alguna vez engañó, a los más grandes financieros norteamericanos. Las declaraciones y artículos en que presentaba su proyecto dejan estupefacto al lector de hoy. Describen, en el lenguaje de otro tiempo, los elementos básicos que marcan la cotidianidad de la sociedad actual, un mundo comunicativo basado en teléfonos móviles, Internet, sistemas de geolocalización, Wi-fi, Bluetooth... Es imposible reaccionar sin maravillarse cuando se leen algunas de las visionarias afirmaciones de Tesla, realizadas incluso antes del final del siglo XIX: «En el futuro, el periódico se imprimirá en las casas sin cables durante la noche».

En el amanecer del siglo XX Tesla trabajaba afanosamente en hacer real ese mundo y estaba seguro de conseguirlo en cuestión de meses. Financiado por el banquero J.P. Morgan, levantó en Long Island la primera estación de su sistema mundial de transmisión inalámbrica, bautizada con el nombre de Wardenclyffe, cuya paradigmática torre se ha convertido en el símbolo de su creador. Aunque Tesla había teorizado y desarrollado equipos de transmisión por radio desde 1893, Marconi sorprendió al mundo en el cambio de siglo enviando señales sin cables a través del Atlántico. Morgan esperaba que la ambiciosa torre de su «empleado» eclipsara la hazaña del italiano. El problema era que Tesla no había sido del todo claro acerca de su verdadero objetivo; Morgan no sabía que Wardenclyffe no sería solo una estación de comunicaciones por radio, sino también la primera central del mundo capaz de distribuir electricidad sin cables de forma eficiente, limpia y generalizada, aprovechando las propiedades de resonancia electromagnética de la Tierra. ¿Le permitirían los magnates de la in-

dustria hacer posible un mundo de comunicación e información libre y energía barata?

La respuesta es evidente. Cuando Morgan se retiró del proyecto, la obra se convirtió en un pozo sin fondo financiero. Tesla jamás se recuperó del desastre, y en el proceso perdió la carrera de la radio. Los primeros años del siglo XX le trajeron desilusiones y amargura, y multiplicaron su legendaria colección de obsesiones. Intentó rehabilitarse con los últimos destellos de su genio, que aún produjo aparatos novedosos y postulados clarividentes, pero su tiempo había pasado. Una nueva generación de científicos, los investigadores del átomo, profesores universitarios especializados, estaba sustituyendo a aquellos hombres de actividad múltiple, científicos-ingenieros-inventores-empresarios, de la era victoriana.

Tesla fue descendiendo por un abismo de decadencia financiera y profesional, y, tristemente, conducido hacia un olvido indigno. Sería suplantado en la historia de la ciencia y la tecnología por sus antagonistas, en general, personajes con menos idealismo y más visión comercial. Tal vez su gran tragedia se encontrara en lo avasallador de su talento y en el hecho de que, en un mundo eminentemente pragmático, fuera más propenso a formular conceptos generales que a presentar innovaciones concretas. La suya fue, sobre todo, una tarea de inspiración. Sus conferencias mostraron el camino a muchas mentes científicas que llevarían sus ideas a la práctica, una influencia imposible de cuantificar con precisión y de materializar en dólares contantes y sonantes. En sus últimos días acabó asumiéndolo con resignación: él vivía para el futuro. Así, como una sombra inasible, asomaría detrás de los logros tecnológicos y científicos más relevantes a lo largo de todo el siglo XX, instalado en un espacio etéreo donde se labraba laboriosamente su epopeya a partir del material magnífico de su vida. No podía ser de otro modo, porque la arcilla del mito se palpaba a manos llenas desde el primer minuto de su existencia, durante una noche de tormenta en las montañas de Croacia, saludado por un rayo. Pocas veces, en la historia de la ciencia, la realidad y la leyenda han estado tan cerca.

1856 Nace Nikola Tesla el 10 de julio en el pueblo de Smiljan, en la actual Croacia, de padres serbios.

1875 Ingresa en la Universidad Técnica de Graz con una beca. Abandona al quedarse sin recursos. Más adelante acudirá a la Universidad Karl-Ferdinand de Praga como oyente.

1882 Trabaja en Budapest, donde experimenta la revelación que le muestra el campo magnético rotatorio.

1884 Tras trabajar para la filial de la Continental Edison Company en París, emigra a Estados Unidos. Edison le contrata de inmediato.

1885 Edison se compromete a pagarle 50 000 dólares por mejorar sus dinamos y Tesla lo consigue. Al reclamar su recompensa, Edison se burla de él. Tesla dimite.

1888 Primera conferencia ante el Instituto Norteamericano de Ingenieros Eléctricos (AIEE), donde presenta el campo magnético rotatorio y el motor de inducción. Tesla firma un contrato con George Westinghouse para desarrollar su sistema.

1891 Segunda conferencia en el AIEE, en la que presenta la transmisión inalámbrica de electricidad. Tesla desarrolla la bobina que lleva su nombre.

1893 Tesla y Westinghouse abastecen de electricidad la Exposición Universal de Chicago y ganan el concurso para explotar las cataratas del Niágara. Tesla presenta los principios de la radio.

1895 Se incendia su laboratorio de la Quinta Avenida, en Nueva York, causándole pérdidas incalculables.

1898 Presenta un prototipo de barco dirigido por control remoto.

1899 Sus experimentos de Colorado Springs le confirman la existencia de las ondas electromagnéticas estacionarias terrestres.

1901 Firma un acuerdo con J.P. Morgan para construir la primera planta de su sistema mundial de transmisión inalámbrica de información y electricidad, llamada Wardenclyffe.

1906 Tras años de problemas financieros, Wardenclyffe detiene su construcción. Tesla intenta recuperarse con inventos de rentabilidad inmediata.

1916 Se declara en bancarrota tras haber vendido Wardenclyffe para pagar sus deudas.

1943 Muere en Nueva York el 7 de enero a los ochenta y seis años. El Gobierno requisa sus archivos, que estudiará durante los años siguientes.

CAPÍTULO 1

La revelación de la electricidad

La popularización de la electricidad es un ejemplo de simbiosis entre ciencia y tecnología; el estudio de esta propiedad de la materia corrió parejo al desarrollo de métodos para generarla, almacenarla o transportarla. Desde muy joven, el serbio Nikola Tesla mostró una comprensión intuitiva de los fenómenos y la tecnología de la electricidad, que le llevó a la noción del campo magnético rotatorio. Con ella, logró algo impensable en su época: diseñar un motor eléctrico impulsado por corriente alterna de eficiencia superior a todos los existentes.

En su autobiografía Nikola Tesla narra con detalle un suceso acaecido un gélido día de febrero de 1882 en Budapest, cuando, todavía siendo un joven jefe de electricistas, paseaba por el parque Varosliget con su amigo Anital Szigety. Caía el sol y el futuro inventor, en cuya cabeza se atropellaban grandes ideas y planes ambiciosos, observaba el horizonte. Se sentía todavía algo débil a causa de la enfermedad nerviosa que acababa de superar sin que los médicos hubieran desentrañado su origen, aunque hoy, a la luz de los avances científicos del siglo XXI, parece que los síntomas de Tesla son muy parecidos a algunos propios del trastorno llamado sinestesia, una percepción conjunta de varios tipos de sensaciones de diferentes sentidos en un mismo acto perceptivo, acompañada a veces de potentes alucinaciones visuales.

Fue quizá uno de esos episodios sinestésicos lo que afectó a Tesla durante el paseo por el parque. De pronto, Szigety se dio cuenta de que estaba caminando solo y volvió la mirada atrás. Nikola (que por entonces estaba obsesionado con la posibilidad de fabricar un motor de inducción energéticamente útil) se había quedado paralizado, en pie, con la mirada perdida. De pronto, pareció despertar de aquella especie de trance, comenzó a buscar un palo afanosamente, y se puso a dibujar en la tierra. Szigety, ingeniero como él, comprendió enseguida que estaba esbozando un diagrama eléctrico, que aquellos garabatos trazados a toda prisa

por su amigo eran el diagrama de una suerte de campo magnético combinado originado por varias corrientes eléctricas. Y cuando le preguntó qué significaba todo aquello, Nikola le explicó que allí estaba la solución para fabricar un motor de inducción, es decir, un motor accionado por el torbellino magnético producido por una serie de corrientes alternas acompasadas. Su motor, impulsado por corriente alterna, sería mucho más eficiente y sencillo que los motores existentes hasta el momento.

A los veintiséis años, aquel joven serbio acababa de elaborar, gracias a su poderosa mente «enferma», un diseño que representaría un radical cambio de paradigma en la aplicación de la electricidad como fuente de energía, aunque tardaría todavía seis años en presentar la rotunda simplicidad de su motor y las inmensas posibilidades de la corriente alterna a los miembros del Instituto Norteamericano de Ingenieros Eléctricos, en Nueva York. Cuando lo hizo, el 16 de mayo de 1888, empleó básicamente el mismo esquema que había dibujado con un palo en la tierra del parque Varosliget. Entonces creyó haber logrado el triunfo, pero nadie podía prever la plétora de adversidades a las que debería enfrentarse durante toda su vida, en lugar de encontrar el apoyo necesario para llevar a buen puerto sus geniales intuiciones.

UN GENIO LLEGA AL MUNDO

Nikola Tesla vino al mundo en la medianoche del 9 al 10 de julio de 1856 en una casa situada junto a la iglesia ortodoxa del pequeño pueblo de Smiljan, situado en la abrupta sierra litoral de Velebit, cuando Croacia estaba a punto de convertirse en un territorio marginal del Imperio austrohúngaro de los Habsburgo. Su padre era el párroco, el reverendo Milutin Tesla; la familia, procedente del oeste de Serbia, pertenecía a una minoría étnica y religiosa desplazada.

La infancia de Nikola transcurrió envuelta en los bucólicos paisajes rurales de las montañas croatas, pero lo cierto es que ni el lugar ni el momento ofrecían unas condiciones de vida particu-

larmente favorables. El analfabetismo era la norma, y al pequeño Niko el futuro le deparaba sólo tres salidas: trabajar en el campo, engrosar las filas del ejército o convertirse en un hombre de la Iglesia. En su casa no había tradición campesina y el intento de carrera militar del propio reverendo Milutin Tesla había acabado con la expulsión de la academia de oficiales por indisciplina. Así que en aquella familia las tres posibilidades quedaban reducidas a una: la carrera religiosa.

Niko tenía un hermano mayor, Daniel, y tres hermanas. Su madre, Dluca Mandic, pertenecía a un linaje poblado de creadores de artilugios mecánicos para la casa y las tareas del campo, de los que había heredado su ingenio y su habilidad práctica. Ella misma fabricaba con sus propias manos todo tipo de aparatos, brillantes soluciones para los problemas cotidianos, como un batidor automático de huevos. Al recordarla, Nikola Tesla siempre afirmaba con amargura que, de haber vivido en otras circunstancias, con toda seguridad hubiera llegado muy lejos.

La unión de los mundos que simbolizaban su padre, un hombre culto y de memoria prodigiosa, capaz de declamar largos clásicos de la poesía, y su diestra y voluntariosa madre, proporcionó a Niko una aguda visión del mundo y una gran fuerza de voluntad. Tal vez influido por ella, el niño se entretuvo pronto imaginando aparatos sorprendentes, como una rueda hidráulica sin paletas, antecesora de su futura turbina sin aspas, o un motor impulsado por escarabajos. Su curiosidad era tan insaciable que en una ocasión intentó volar con un paraguas desde el tejado del establo, aprovechando las ráfagas de viento, y también se dedicó a desmontar afanosamente los relojes de su abuelo, para luego intentar montarlos de nuevo, aunque jamás consiguiera hacerlo con éxito.

En otra anécdota extraída de sus memorias explica Tesla que, siendo apenas un niño, reparó la nueva bomba de incendios de los bomberos de la localidad, tras localizar el problema en un atasco en la toma de agua del río en la que nadie se había fijado. Cuando los vecinos le llevaron a hombros por todo el pueblo y sintió el aguijonazo del reconocimiento, decidió que quería ser ingeniero, aunque eso auguraba un futuro conflicto con su padre.

Cuando su hermano mayor Daniel tenía doce años sufrió un accidente montando a caballo y murió. La tragedia causó en el pequeño Nikola un trauma que le acompañaría durante toda su vida. Algunos biógrafos han sugerido que quizá fuera él mismo el responsable de asustar al caballo, pero sea como fuere la sombra de aquella tragedia tiñó su infancia y marcó su personalidad. Según Tesla, su hermano Daniel era un niño con una inteligencia portentosa, el mayor orgullo de sus padres, y tras su desaparición Milutin y Dluca concentraron sus esperanzas en la formación de Niko, sometiéndolo a rigurosos ejercicios de memoria y disciplina. Por su parte, Niko asumió la responsabilidad de resarcir a sus padres materializando la promesa truncada y se esforzó a lo largo de toda una infancia dominada por la insatisfacción permanente. En el futuro se tomaría el trabajo de manera auténticamente monacal, lo cual —sumado a su singular personalidad— le arrastraría a desarrollar un colorista catálogo de filias y fobias cercanas a la neurosis obsesiva.

«No creo que haya alguna emoción más intensa para un inventor que ver alguna de sus creaciones funcionando. Esa emoción hace que uno se olvide de comer, de dormir, de todo.»

— Nikola Tesla.

Su vía de escape fue siempre su vívida imaginación, probablemente asociada a su potente capacidad de pensamiento visual. Le gustaba imaginar viajes donde conocía personas de toda clase, y era capaz de construir universos enteros dentro de su mente. Años después se mostraría terriblemente perezoso a la hora de dibujar sobre papel esbozos y diagramas, asegurando que prefería perfeccionar los modelos en su cabeza, una capacidad que no estaba al alcance de cualquier inteligencia. Su aversión a los planos, que no le eran necesarios gracias a su impresionante memoria fotográfica, provocaría una comprensible irritación en sus socios y la desconfianza de sus colegas, además de ocasionarle muchos problemas a la hora de patentar sus inventos.

Según explicaría en su vejez, la mente despierta de Niko Tesla se encontró por primera vez con la electricidad una cruda tarde de

invierno en que su casa había quedado aislada por la nieve. Aquella tarde, cuando salió a jugar, le pareció ver que la gente dejaba un rastro luminoso cuando caminaba por la nieve y, al lanzar una bola contra una roca, vio que producía un destello de luz parecido a los que había visto cuando el cuchillo de su tía se hundía en un gran bloque de azúcar. De regreso a casa, mientras su madre preparaba la cena y él contemplaba los campos nevados a través de la ventana, su gato *Macak* se acercó a hacerle compañía. Se dio cuenta entonces de que el lomo del animal resplandecía, y cuando lo acarició saltaron chispas. Su madre le dijo que dejase de jugar con el gato si no quería provocar un incendio, y su padre le explicó que aquellas chispas eran de electricidad. El comentario le impresionó vivamente y lo recordaría toda su vida; nunca había oído hablar de un poder invisible que fuera tan grande como para incendiar una casa. Más tarde, cuando la habitación estaba casi a oscuras y *Macak* se sacudía las patas como si caminase por una superficie mojada, Niko vio su cuerpo peludo recubierto por una especie de aura.

Desde aquel lejano día no dejó de pensar en la fuerza que producía aquellos fenómenos. Se preguntaba, según comentaría más tarde, si no sería la electricidad como un gigantesco gato: hermosa e imponente, pero terriblemente peligrosa. ¿Sería posible ser su amigo, como lo era de *Macak*, y acariciarla para cosechar sus chispas? El pequeño Niko se aficionó a pedir prestados manuales y libros de física para ver si encontraba en ellos la respuesta a la gran pregunta que rondaba por su cabeza: ¿qué es la electricidad?

¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD?

En la materia se encuentra una propiedad muy especial: la carga eléctrica. Esta puede ser de dos tipos, positiva o negativa, resultando que las cargas eléctricas de signos opuestos se atraen con una fuerza extraordinaria, tal y como sucede, por ejemplo, en el interior de los átomos. La carga elemental positiva se denomina protón, y la carga elemental negativa, electrón. La carga eléctrica causa fenómenos físicos relacionados principalmente con la inte-

racción y la energía de los electrones, que se manifiestan de múltiples maneras, incluyendo fenómenos de tipo térmico, mecánico, lumínico y químico.

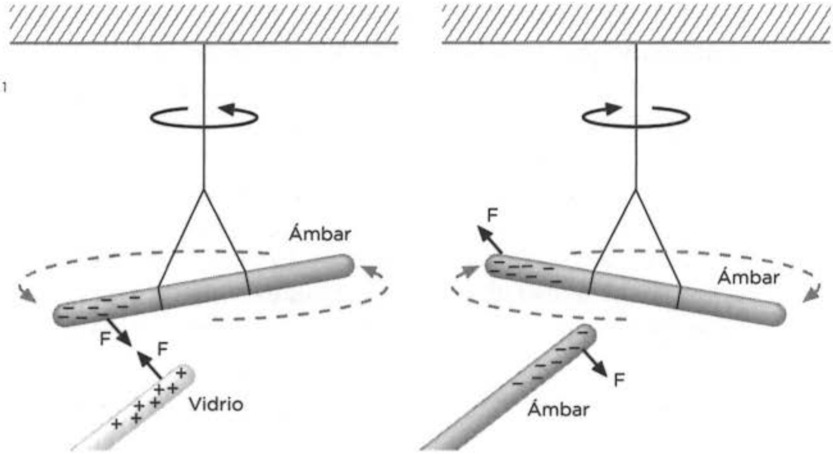
Por lo general, cuando se habla de electricidad se está hablando de la propiedad de la materia. Pero la palabra «electricidad» también tiene otras dos acepciones: la forma de energía basada en esa propiedad, y la parte de la física que estudia los fenómenos eléctricos. En cualquiera de los tres sentidos, la electricidad ocupa un espacio fundamental en la sociedad humana. El mundo actual sería imposible sin ella. Sin embargo, la humanidad vivió sin electricidad hasta principios del siglo XX.

Aunque los fenómenos asociados a la electricidad pueden observarse en la naturaleza, el hombre logró la comprensión total y el control de esta propiedad con el fin de mejorar su calidad de vida a través de un proceso muy largo. Los griegos ya habían observado que cierta resina fósil adquiría la propiedad de atracción sobre plumas, hilos o pelusa cuando se frotaba con un trozo de piel. Aquella resina es lo que hoy se conoce como ámbar; los griegos la llamaban *elektron*. En la época isabelina, el inglés William Gilbert (1544-1603), investigador del magnetismo, descubrió que la fricción daba la misma propiedad a otras materias, como el vidrio. Fue él quien acuñó las palabras «electricidad» y «eléctrico» a partir del término griego *elektron*.

En 1733 el químico francés Charles du Fay (1698-1739) descubrió que dos varillas del mismo material, ámbar o vidrio, sometidas a fricción, se repelían. Sin embargo, las varillas de materiales distintos se atraían (figura 1). Este comportamiento ya se había observado en los polos magnéticos de un imán. Ahora bien, si las varillas entraban en contacto, cesaba su interacción. Por tanto, parecía que debían existir dos tipos de «electricidades» distintas.

El político, científico e inventor norteamericano Benjamin Franklin (1706-1790) fue el primero en hablar explícitamente de carga positiva y carga negativa. Cuando frotaba una varilla de vidrio, la «electricidad» fluía hacia su interior «cargándolo positivamente», mientras que cuando frotaba el ámbar, la «electricidad» escapaba de él, «cargado negativamente». El contacto entre vari-

FIG. 1



Comportamiento de las varillas de Du Fay sometidas a fricción. Las varillas de un mismo material experimentan una fuerza de repulsión entre ellas (F), mientras que si son de material distinto esta fuerza es de atracción.

llas de cargas opuestas hacía fluir la carga de la positiva a la negativa hasta establecer un punto de equilibrio, la neutralidad. En 1785, Charles Coulomb midió la relación y magnitud de la atracción y la repulsión entre cargas. La ley de Coulomb demuestra que la fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, y proporcional a las cargas, cuya relación se asemeja a la fuerza de la gravedad.

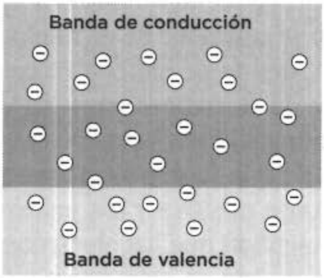
¿Qué estaba sucediendo en el interior de las varillas que aquellas mentes científicas se traían entre manos? Para comprenderlo, hubieran necesitado conocer la materia, la estructura del átomo, con la profundidad con que se conoce actualmente. En una descripción simplificada, un átomo se compone de un núcleo, constituido por protones y neutrones, donde se concentra casi la totalidad de la masa, y por una nube de electrones cuya masa, muy pequeña, orbita alrededor del núcleo. Esta estructura se mantiene estable en gran medida debido a la fuerza electromagnética. Los protones tienen carga unitaria positiva y los neutrones, como su nombre indica, neutra, mientras que los electrones tienen carga negativa. En conjunto, el átomo es eléctricamente neutro. Ahora bien, en algunos materiales, los electrones tienen

cierta independencia de sus núcleos y pueden desplazarse respecto a ellos. El desplazamiento neto (flujo) de los electrones *es* la corriente eléctrica. La mayor parte de las aplicaciones prácticas de la electricidad tienen que ver con este flujo de electrones que observaban, sin poder reconocerlo, los primeros investigadores de la electricidad.

Tras haber descubierto los aspectos básicos de la electricidad, los científicos se las ingeniaron para encontrar la manera de estudiarla mejor. Los experimentadores del siglo XVIII observaron que la electricidad fluía libremente por algunos cuerpos, como los metales, que hoy se conocen como «conductores», mientras que no

LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Además de los conductores y los aislantes, hoy día se clasifican los materiales según un tercer tipo, el de los semiconductores, que son aquellos que pueden comportarse como conductores o como aislantes bajo determinadas condiciones, por ejemplo, la presión o la temperatura. Los semiconductores tienen una importancia primordial en todas las aplicaciones electrónicas. Según la llamada teoría de bandas, las órbitas o capas de electrones que giran alrededor de sus núcleos se denominan «niveles» o «bandas de energía», y existen tres: la banda de valencia, la banda de conducción y la banda prohibida. En la banda de valencia orbitan los electrones que el átomo puede ceder, atraídos por la banda de valencia de otro átomo cercano. En la banda de conducción se localizan los electrones que ya han quedado libres durante un enlace entre átomos y pueden moverse fácilmente. La banda prohibida separa las dos anteriores, de modo que los electrones deben saltarla para desplazarse de una a otra. No se trata de un espacio vacío, sino que está relacionado con

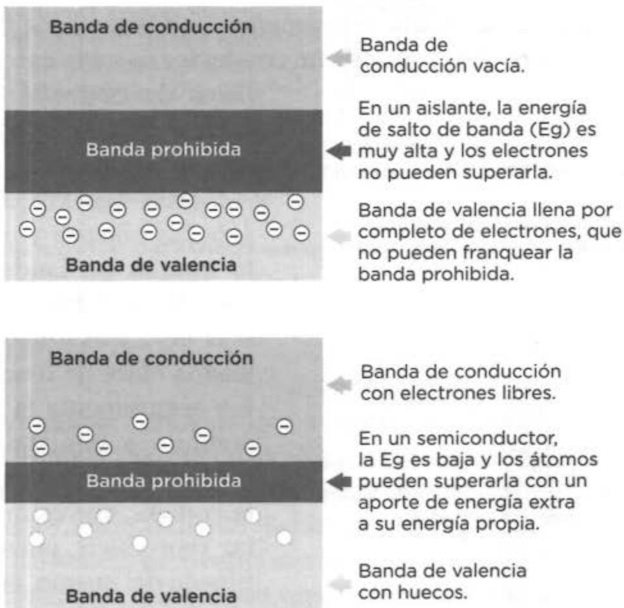


En los metales la banda prohibida no existe, por lo cual los electrones pueden saltar libremente desde la banda de valencia a la banda de conducción.

podían fluir fácilmente a través de otros, como el vidrio o el ámbar, hoy conocidos como «aislantes». Por tanto, pensaron que aprovechando estas propiedades se podría «capturar» y quizá almacenar electricidad. Para ello sería preciso acumular gradualmente una gran carga eléctrica en un conductor y luego aislarlo con vidrio o una capa de aire para evitar la pérdida de la electricidad.

Un artefacto de estas características, que hoy se conoce como condensador, fue la botella de Leiden, ideada simultánea e independientemente en 1745 por el profesor alemán Georg von Kleist (1700-1748) y por el físico holandés Pieter van Musschenbroek (1692-1761). Este recipiente —una botella de vidrio— se cargaba a través de una

la energía necesaria para romper el enlace entre electrones. La cantidad de energía que necesita un electrón para saltar la banda prohibida determina la conductividad eléctrica de un material.



varilla metálica que atravesaba el tapón; la carga se acumulaba en el propio vidrio, al que el británico William Watson (1715-1787) añadió en 1747 un revestimiento de estaño tras descubrir que aumentaba la capacidad de carga (figura 2). Una botella muy cargada producía un espectáculo de chispas y crepitaciones; tocarla podía producir una descarga. ¿Qué estaba sucediendo en su interior?

La botella de Leiden explica fenómenos eléctricos esenciales. Los electrones tienden de forma natural a desplazarse desde zonas con alta densidad de carga hacia zonas de menor densidad de carga electrónica. La fuerza que conduce los electrones, o dicho de otro modo, que impulsa el movimiento de las cargas, se llama «fuerza electromotriz» *(fem)* o, en términos energéticos, «potencial eléctrico». Si el potencial eléctrico se eleva lo suficiente, los electrones franquearán incluso el espacio aislante entre los polos negativo y positivo. Entonces cruzan el aire produciendo una chispa de luz, acompañada de una crepitación. El chisporroteo lo causa la radiación resultante de las colisiones entre los electrones y las moléculas del aire; el ruido proviene de la expansión del aire al calentarse súbitamente. La diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un conductor se mide con una magnitud física denominada tensión eléctrica o voltaje, que se cuantifica con un voltímetro.

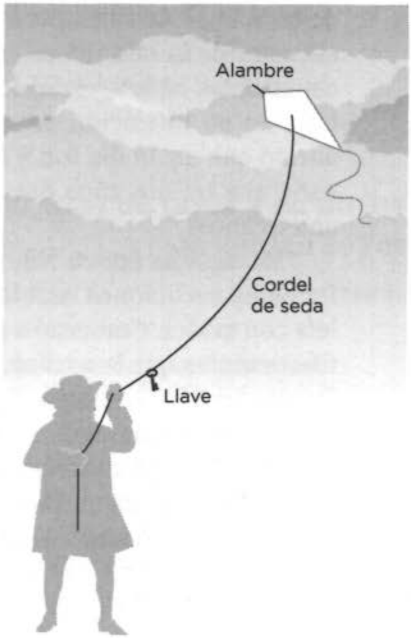
Elementos y estructura de la botella de Leiden.

FIG. 2



En el siglo XVIII, al maravillarse ante las chispas y chasquidos de la botella de Leiden, no pocos científicos debieron preguntarse si el rayo y el trueno no serían la misma clase de fenómeno. Y esta fue seguramente la pregunta que condujo a Benjamin Franklin a realizar el famoso experimento de la cometa, que es mejor no intentar reproducir, pues lo más afortunado del mismo, en palabras del propio científico, fue que saliera de él con vida.

EL PARARRAYOS DE FRANKLIN



En medio de una tormenta, el célebre inventor Benjamin Franklin (famoso también por ser uno de los padres de la independencia de Estado Unidos) alzó una cometa con un alambre en la punta, al que anudó un hilo de seda que descendía hasta una llave metálica. Cuando acercó la mano a la llave, ésta despidió chispas; por tanto, la electricidad estaba descendiendo por el hilo. Mediante este procedimiento, consiguió cargar botellas de Leiden. Con la misma satisfacción infantil con que —más de cien años después— el niño serbio Niko Tesla descubriría la electricidad estática en la nieve y en el pelaje de su gato, Benjamin Franklin descubrió que el rayo y el trueno eran los efectos de una especie de botella de Leiden cósmica en la que las nubes de tormenta, cargadas de electricidad, actuaban como un polo, y la tierra como el otro. Fue un paso decisivo para la comprensión de los fenómenos eléctricos, aunque todavía faltara mucho camino por recorrer.

SUEÑOS ELÉCTRICOS

Gracias a su inagotable curiosidad y a su afición a estudiar por su cuenta, a los seis años Niko ya conocía los rudimentos de la electricidad. A esa edad su padre fue trasladado a Gospic, la capital de la región, a pocos kilómetros de distancia, y toda la familia se mudó allí. En la escuela de Gospic sus cualidades e inteligencia brillaron de inmediato, destacando especialmente en matemáticas. En el Gymnasium (instituto), donde ingresó a los diez años, dio rienda suelta a su interés natural por la física gracias al apoyo

de sus profesores y a la existencia de un laboratorio muy bien dotado. Tal como refiere en sus memorias, las aventuras exóticas dejaron lugar en su mente a turbadoras nociones sobre la energía, el poder de la naturaleza, el viento, el sol, el agua... Después de estudiar las cataratas del Niágara, presentó a su familia una turbina de su invención para aprovechar la fuerza de aquéllas y afirmó que algún día iría a América para construirla. Poco imaginaba que treinta años más tarde vería materializado su «sueño americano».

En aquella época Niko estuvo enfermo a menudo. En esas forzadas vacaciones escolares, en lugar de descansar la mente, leía con avidez. Comenzó a experimentar también extrañas molestias oculares que le asaltaban en momentos de tensión o euforia. Decía percibir fogonazos, estructuras de luz u objetos fantasmales que no conseguía distinguir de la realidad. Puede que el ánimo hipersensible de un niño algo enfermizo y la asombrosa efervescencia de su mente, acelerada hasta altas horas de la noche, explicasen esos episodios. Al parecer su hermano Daniel había sufrido visiones similares. Esas imágenes le acompañaron durante mucho tiempo y las describiría por escrito a menudo, aunque de manera confusa, por lo que no ha sido posible saber exactamente a qué se debían. Tampoco se dispone de una opinión médica fiable, porque los médicos que le trataron en su juventud no fueron capaces de emitir un diagnóstico. Como se ha dicho, algunos de sus síntomas coincidan con el trastorno sinestésico.

Para continuar avanzando en sus estudios, en 1870 sus padres le enviaron al Instituto Superior de Karlovac, a 150 km de casa. Allí vivió con una de sus tías, la esposa del coronel Brankovic. Los estudios le fueron bien: su profesor de Matemáticas y Física le influenció decisivamente al introducirle en la maravilla de la electricidad mediante aparatos de su invención; el brillante Niko completó el ciclo de cuatro años en solo tres. Pero también recordaría luego que su tía le alimentaba «como a un canario», en sus propias palabras; cuando el coronel le servía algún jugoso manjar en el plato, ella lo arrebataba diciendo: «Niko es muy delicado». De hecho, enfermó repetidamente de paludismo, aunque no era de extrañar en un lugar donde la mayor diversión infantil

era cazar las ratas que se colaban en las casas cuando el río se desbordaba, arte en el que, al parecer, Niko era todo un maestro. En Karlovac, apartado de la influencia paterna, el muchacho comprendió que solo sería feliz si emprendía una carrera que le permitiera experimentar. Y para conseguirlo, debía cambiar el pensamiento de su padre.

> «La idea vino como un *flash* de rayos y en un instante la verdad se reveló.»
>
> — NIKOLA TESLA.

Paradójicamente su mejor aliado fue de nuevo la enfermedad. En contra de las advertencias de la familia, regresó a casa durante una epidemia de cólera en la zona y contrajo el mal. Quedó postrado durante nueve largos meses en los que los médicos temieron por su vida. Sus padres vivían al borde de su cama, encogidos por la preocupación. Nikola aprovechó la circunstancia para arrancarles una promesa: si superaba aquel mal trago, estudiaría ingeniería. «Si te recuperas, prometo enviarte a la mejor escuela técnica del mundo», respondió su padre.

Pero no sería tan sencillo. En 1874, apenas se recuperó, Nikola fue llamado a filas para hacer el servicio militar por espacio de tres años. Si en algo coincidían padre e hijo era en la antipatía por lo castrense, así que Milutin lo envió a pasar una temporada en una casa de la montaña, en Tomingaj, mientras movía hilos para eximirle de sus obligaciones militares por motivos de salud. Siguiendo las órdenes de su padre, Nikola dedicó el bucólico retiro al ejercicio físico, pero también a leer y esbozar en su mente ideas tan magníficas que resultaban imposibles, aunque no carentes de acertada intuición. Ideó un túnel bajo el océano Atlántico para despachar correo entre Europa y América; y, a una escala aún mayor, un anillo gigantesco alrededor del ecuador que rotara a la misma velocidad de la Tierra para alojar en él estaciones de comunicaciones. Expresado así, recuerda asombrosamente a los satélites geoestacionarios de la actualidad, pero el proyecto de Tesla iba un paso más allá: si se aplicaba al anillo una fuerza

de signo contrario respecto a la rotación del planeta, quedaría fijo y permitiría trasladarse por él para viajar más rápido. Según sus cálculos, con este sistema se podría circunvalar la Tierra en un solo día. La desbocada imaginación del serbio no siempre fue su mejor amiga.

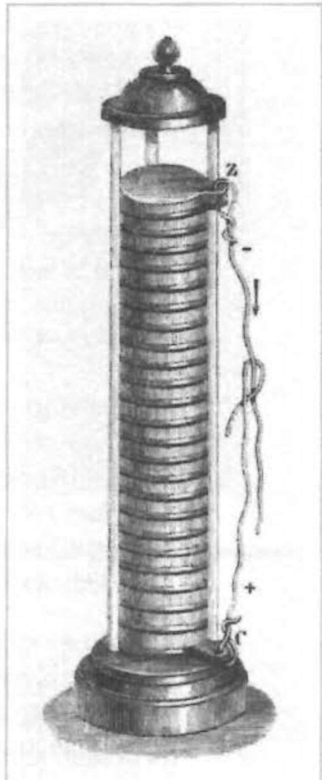
Meses más tarde, ya en 1875, Nikola Tesla accedió a la Universidad Técnica de Graz gracias a una beca de las autoridades militares de fronteras. Tenía diecinueve años y se encontraba a 360 km de la casa de sus padres, cada vez más lejos, como una prefiguración de sus futuros viajes. Al fin ingresaba en una escuela de ingeniería, donde estudiaría todos los secretos de la electricidad y conocería las obras de los grandes personajes que la habían investigado, desde Galvani hasta Maxwell, pasando por supuesto por Faraday; estaba ansioso por estudiar a fondo no solo la teoría sino también las aplicaciones de la electricidad y desmontar con sus propias manos aquellos ingenios que apasionaban su inteligencia efervescente: electroimanes, dinamos, motores...

DE LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA A LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Los pioneros de aquel misterioso fenómeno llamado electricidad empezaron estudiando su manifestación estática. Pero la electricidad se pondría «en movimiento» un día de 1791, cuando el anatomista Luigi Galvani (1737-1798) se encontraba diseccionando una rana. El italiano observó que las ancas del animal se contraían si las tocaba simultáneamente con dos metales diferentes, como si las activara una botella de Leiden. Entonces creyó que los músculos debían contener algún tipo de «electricidad» que se manifestaba al contacto del metal.

Su compatriota, el físico Alessandro Volta (1745-1827), no estaba de acuerdo; pensaba que el origen de la carga no estaba en el animal sino en el encuentro de los dos metales, e intentó demostrarlo en 1800. Volta experimentó con combinaciones de diferentes metales que, en lugar de estar en contacto a través

de tejidos musculares, lo estaban mediante soluciones líquidas. Introducía los metales en cuencos de salmuera, esto es, en agua con una alta concentración de sal, y los apilaba. Para que no se derramase el líquido, tapaba los cuencos con discos de cobre y cinc, y también de cartón o fieltro humedecido. El italiano descubrió que aquellas pilas producían una corriente eléctrica ininterrumpida, no como la botella de Leiden, que se cargaba y luego se descargaba de forma instantánea. Las pilas voltaicas, como se denominaron en honor a Volta, fueron el primer dispositivo de almacenaje de energía eléctrica de la historia. El voltaje de la pila, medido en voltios (también en honor de Volta), es la medida de la cantidad de trabajo que puede realizar o, lo que es lo mismo, su potencial.



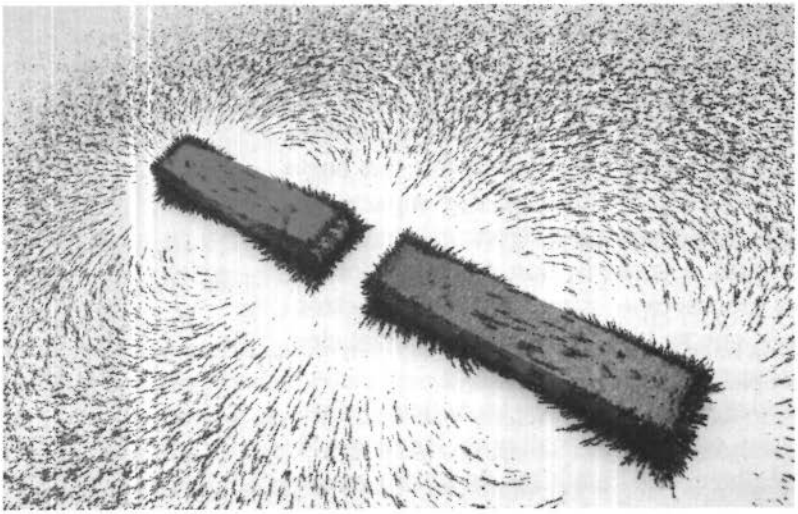
Pila de Volta. Dos metales diferentes en contacto originan un flujo de electrones que se trasladan entre los bloques a través de cartón o fieltro impregnado en agua salada.

A mediados del siglo XIX, el científico autodidacta inglés Michael Faraday (1791-1867) dio el paso decisivo para la comprensión de los fenómenos eléctricos. De modo experimental y sin apoyo de las matemáticas, relacionó la electricidad y el magnetismo, dos fenómenos que hasta entonces se habían estudiado por separado, y descubrió la inducción electromagnética —que ha permitido la construcción de generadores y motores eléctricos—, y las leyes de la electrólisis, por lo que se le considera el padre del electromagnetismo y la electroquímica.

Faraday había estudiado un antiguo experimento, que aún hoy se realiza en las clases de física: al diseminar limaduras de hierro en una hoja de papel situada sobre un imán, estas dibujan líneas curvas que unen los dos polos del imán. El inglés afirmó que esas líneas magnéticas de fuerza eran la representación visual de un campo magnético. Por otro lado, Faraday conocía una propiedad descubierta por un científico danés que establecía el vínculo definitivo entre la electricidad y el magnetismo. En 1811, Hans Christian Oersted (1777-1851) observó que

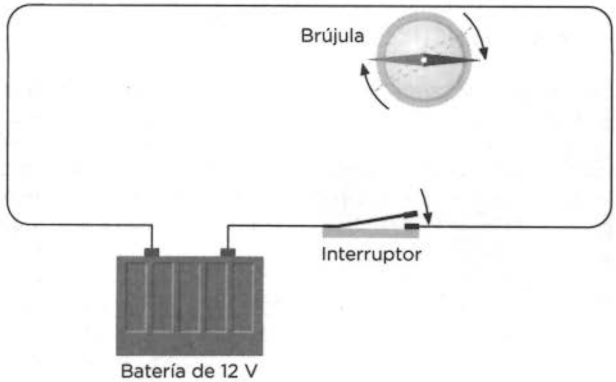
LA NOCIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO

La noción de campo magnético es esencial en física. Surgió ante la necesidad de explicar la interacción a distancia entre cuerpos y comenzó definiéndose como el espacio en que se distribuyen fuerzas potenciales que solo se expresan en ciertas condiciones. Faraday propuso la idea para explicar la acción de un imán. Al observar la organización espontánea de las limaduras de hierro diseminadas alrededor del imán pensó que debía existir en el espacio una distribución de fuerzas invisibles, preparadas para manifestarse. A partir de ahí, la idea se aplicó a todas las fuerzas a distancia: la Tierra desarrolla a su alrededor un campo gravitatorio y un campo magnético, una carga eléctrica desarrolla un campo eléctrico, etcétera. Hoy se define como la distribución espacial de una magnitud física que muestra cierta variación en una región del espacio.



cuando se coloca una brújula sobre un cable por el que circula corriente eléctrica, la aguja se desvía para situarse en ángulo recto con respecto al cable (figura 3). Faraday intuyó que quizá la corriente eléctrica también formaba líneas magnéticas de fuerza en torno al cable.

FIG. 3



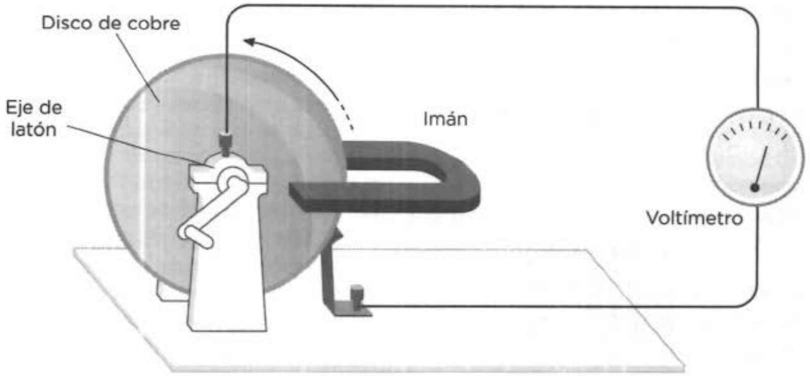
El efecto Oersted, según el cual al hacer pasar la corriente eléctrica cerca de una brújula, su aguja se orienta en el sentido de la corriente. Tanto Faraday como Ampère basaron parte de sus trabajos en el descubrimiento del físico danés, que establecía una relación entre electricidad y magnetismo.

Para confirmar sus intuiciones, vino al rescate André-Marie Ampère (1775-1836), que había continuado los estudios de Oersted. En sus experimentos, Ampère observó que un cable recorrido precisamente por una corriente eléctrica se comportaba como un imán: dos cables paralelos por los que circulaba corriente en la misma dirección se atraían, y cuando la dirección era opuesta, se repelían. El francés también descubrió que una bobina cilíndrica de cable por la que pasa una corriente eléctrica se comportaba como una barra imantada. Él fue quien acuñó el vocablo «electromagnetismo».

Así pues, el principio básico del electromagnetismo es el siguiente: cuando dos cargas eléctricas están en movimiento, entre ellas surge una fuerza magnética (además de la fuerza electrostática que tienen las cargas en reposo, según la ley de Coulomb). Todas las manifestaciones de fenómenos magnéticos se pueden explicar mediante esta fuerza existente entre cargas eléctricas en movimiento.

Por tanto, pensó Faraday, ¿podía suceder al revés? ¿Podría un imán producir una corriente eléctrica similar a la que producían las pilas? El 29 de agosto de 1831 realizó el experimento crucial: hizo girar un hilo eléctrico enrollado alrededor de una bobina en el entrehierro de un imán, y, efectivamente, generó una corriente

FIG. 4



La dinamo de Faraday transforma la energía cinética del movimiento de un disco giratorio de cobre en electricidad, debido a que el disco corta las líneas de fuerza de un imán, induciéndole una corriente eléctrica.

eléctrica (figura 4). Al estudiar el fenómeno comprendió que lo que creaba la corriente no era el magnetismo, sino el movimiento de las líneas magnéticas de fuerza a través del cable. Había descubierto el principio de la inducción eléctrica: un campo magnético variable induce una fuerza electromotriz. La ley de Faraday establece que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético. Además, el inglés había construido el primer generador eléctrico, o dinamo (del griego *dynamis*, «fuerza»), que producía electricidad mediante el movimiento mecánico.

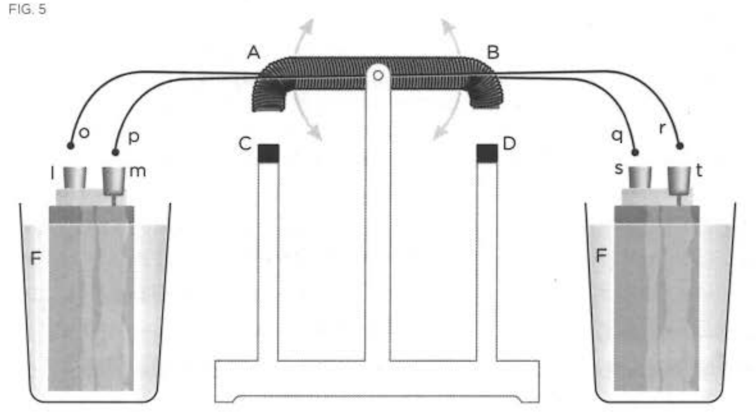
Entre tanto, al otro lado del océano Atlántico, el también autodidacta estadounidense Joseph Henry (1797-1878) había descubierto de manera independiente y en paralelo a Faraday la inducción eléctrica, siguiendo igualmente los pasos del danés Oersted. Henry era un hombre idealista y creía que estaba obligado a compartir sus conocimientos con todo el mundo, lo que le provocaría la pérdida de la patente del telégrafo frente a Samuel Morse (1791-1872). En 1831, cuando Faraday construía el primer generador eléctrico, Henry culminaba sus experimentos precedentes con electroimanes desarrollando un aparato complementario al de su colega inglés: Henry usaba la corriente eléctrica para hacer girar una rueda. Había inventado el motor eléctrico

(figura 5). Si en una dinamo, el rotor —el componente rotatorio de la máquina— convierte el trabajo mecánico en electricidad, en un motor el rotor convierte la electricidad en trabajo mecánico.

El motor de Henry podía transportarse fácilmente porque su tamaño se podía reducir y lograba funcionar a pleno rendimiento con mayor rapidez que la máquina de vapor de James Watt (1736-1819), que requería un tiempo de espera para almacenar el vapor. Ahora bien, el motor de Henry presentaba un problema obvio: para funcionar necesitaba que la electricidad llegara hasta él desde una central generadora. La cuestión del abastecimiento, es decir, de transportar la energía de modo adecuado, fue el nuevo reto de la investigación en electricidad.

La electricidad no había entrado en acción durante la primera etapa de la Revolución industrial, pero sería sin lugar a dudas uno de los principales protagonistas de la segunda. Faraday no había tenido la destreza de formalizar las teorías sobre las líneas de fuerza, así que no fueron comprendidas de modo correcto hasta las décadas de 1860-1870, cuando el físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) las plasmó matemáticamente. Maxwell resumió todos los fenómenos eléctricos y magnéticos en solo cuatro ecuaciones, llevando a cabo así uno de los mayores ejercicios de síntesis de la física.

FIG. 5



Los imanes verticales (C y D) atraen a los horizontales (A y B), rodeados de alambre de cobre. El movimiento empuja las sondas metálicas (o-p y q-r) hacia los dedales de latón (l-m y s-t), rellenos de mercurio y soldados a una placa de cinc rodeada de cobre y sumergida en ácido diluido (F). La corriente fluye por el imán horizontal produciendo un campo electromagnético que une A y C, y luego B y C, en una oscilación continua.

LAS ECUACIONES DE MAXWELL

James Clerk Maxwell hizo abundantes contribuciones a la ciencia, pero su logro más importante fue la síntesis, en tan solo cuatro ecuaciones, que permite describir de qué modo las cargas eléctricas y las corrientes eléctricas originan campos eléctricos y magnéticos, y cómo se afectan mutuamente. Más tarde se constató que las ecuaciones de Maxwell no son exactas, sino la aproximación clásica de ecuaciones más precisas que son el cuerpo fundamental de la teoría de la electrodinámica cuántica. En el mayor número de casos, las desviaciones introducidas por las consideraciones cuánticas, respecto a la descripción en base a las ecuaciones de Maxwell, son demasiado pequeñas para ser mensurables, pero son relevantes en los casos de la luz comportándose como partícula o en campos de muy gran intensidad. La versión diferencial en notación de campos vectorial de las ecuaciones de Maxwell, para el caso macroscópico, es la siguiente:

— Ley de Gauss:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_f,$$

donde $\vec{D}$ es la densidad de flujo eléctrico, y ρ es la densidad de carga libre en el vacío ($\nabla \cdot$ es la divergencia, un operador diferencial). Esta ley describe el campo eléctrico creado por una carga. Una carga eléctrica genera un campo eléctrico. El flujo de campo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga dentro de la superficie. La figura 1 ilustra el campo eléctrico creado por una sola carga.

— Ley de Gauss para el campo magnético:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0,$$

donde $\vec{B}$ es el campo magnético. Esta ley describe el campo magnético creado por un imán. A diferencia del campo eléctrico, no existe una «carga magnética» o un monopolo magnético, sino que el campo magnético surge de la configuración de tipo dipolar existente en ciertos materiales. De ello se deriva que las líneas de campo magnético de un imán sean cerradas (figura 2), y el flujo magnético que recorre una superficie cerrada es cero.

— Ley de Maxwell-Faraday (formulada a partir de la ley de la inducción de Faraday):

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t},$$

donde $\vec{E}$ es el campo eléctrico, y t, el tiempo ($\nabla \times$ es el operador vecto-

rial rotacional y $\frac{\partial}{\partial t}$ es la derivada parcial con respecto al tiempo). La ley de Faraday describe cómo un campo magnético variable en el tiempo produce (o induce) un campo eléctrico. Este fenómeno se aplica en la generación de electricidad (figura 3): mediante la rotación de un imán se genera una corriente eléctrica en un cable próximo.

— Ley de Ampère (corregida por Maxwell):

$$\nabla \times \vec{H} = J_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},$$

donde $\vec{H}$ es la intensidad de campo magnético y J es la densidad de corriente eléctrica libre. En la ley de Ampère original se describe cómo una corriente eléctrica puede originar un campo magnético (figura 4). Además, los campos magnéticos pueden generarse mediante campos eléctricos variables. Este segundo fenómeno, de enorme importancia, es la corrección de Maxwell a la ley de Ampère. Maxwell aportó con ello la explicación a la propagación de las ondas electromagnéticas y estableció la conexión fundamental entre la óptica y el electromagnetismo al comprender que ambas disciplinas tratan con formas de radiación electromagnética, como son las ondas de radio, rayos X, luz visible, etcétera.

FIG. 1

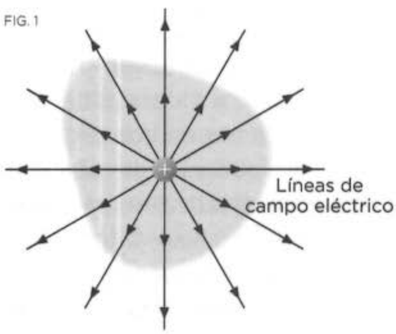


FIG. 2

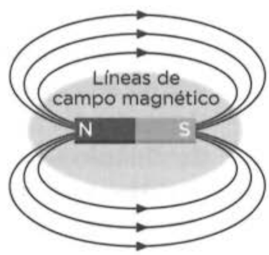


FIG. 3

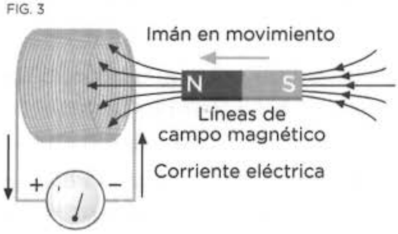
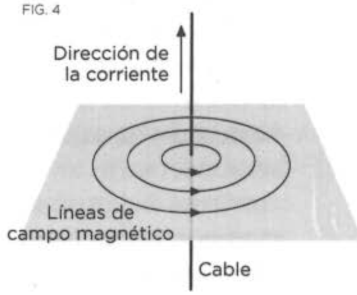


FIG. 4

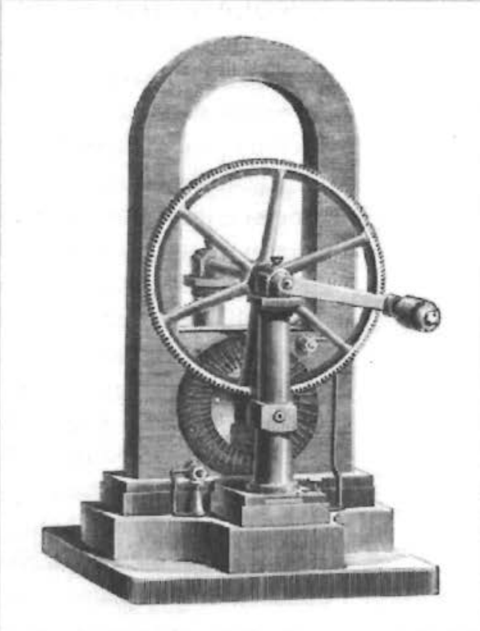


NIKOLA TESLA, EL TAHÚR

James Clerk Maxwell presentó sus ecuaciones en 1873, mientras el joven Nikola Tesla luchaba por su vida contra el cólera. Cuando el serbio llegó a Graz dos años más tarde, la obra del escocés, *Tratado de electricidad y magnetismo*, todavía podía considerarse reciente, pero ya había dejado sentir su peso. En la universidad, Nikola releyó sus explicaciones lleno de entusiasmo e inmerso en una actividad frenética. La beca que le habían concedido solo cubría el primer año. Consciente de ello, Nikola se sometió a jornadas maratonianas de estudio, durmiendo escasas horas, para conseguir aprobar dos cursos en aquel tiempo. En aquel primer año no perdió una sola clase, sacó las calificaciones más altas, fundó un club de cultura serbia y añadió la ingeniería mecánica a su dominio sobre la física y las matemáticas.

En la clase de física teórica y experimental, Nikola estudió la dinamo desarrollada por el ingeniero belga Zénobe Gramme (1826-1901), el primer generador eléctrico apto para uso industrial, que podía usarse también como motor. Las primeras dinamos, accionadas por una manivela, inducían picos de corriente, produciendo inevitablemente corriente alterna, pero evolucionaron incorporando varios elementos a su maquinaria, como el conmutador, para convertir la corriente en continua. Al probar la dinamo Gramme en clase, Tesla observó que el conmutador, que servía para que la corriente cambiara de conductor, no paraba de emitir chispas, y cierto día, incluso, llegó a estallar. El profesor explicó que esa clase de problemas eran inherentes a la naturaleza de la máquina. Podrían reducirse, pero mientras se usaran conmutadores, sería inevitable que sucedieran. Mientras la electricidad fluyera en una dirección, y mientras un imán tuviera dos polos que inciden de modo opuesto sobre la corriente, sería necesario un conmutador para cambiar la dirección de la corriente en la armadura de la dinamo. Tesla afirmó que, de todos modos, tal cosa ocurría porque la máquina estaba limitada por la corriente que empleaba y que funcionaría mucho mejor si se eliminaba el conmutador usando corriente alterna. Según recogen la mayoría de sus biografías, su profesor respondió que aquella era

una idea digna de una mente fantasiosa: «El señor Tesla podrá alcanzar grandes cosas pero, desde luego, nunca conseguirá eso». En aquel momento, se instaló en la mente de Tesla la obsesiva idea de demostrar que el que se equivocaba era su profesor.



La dinamo desarrollada por el ingeniero belga Zénobe Gramme fue el primer generador eléctrico apto para su empleo en la industria.

El curso siguiente no sería tan idílico. A finales del segundo año el magro sueldo de clérigo de Milutin Tesla ya no daba para más. Nikola comenzó a jugar, primero al ajedrez, luego al billar y finalmente a las cartas, descubriendo con sorpresa que tenía buenas cualidades. A finales del tercer año dejó de acudir a clase, y al año siguiente abandonó los estudios. Fue el comienzo de un capítulo de su vida del que jamás le gustaría hablar. Sus biógrafos más novelescos interpretan que se hizo tahúr para proveerse de manutención; otros afirman, a la inversa, que fue expulsado de la universidad por su vida disoluta, con el consiguiente enfado de su padre, que al parecer había olvidado su propia expulsión de la academia militar por indisciplina. El propio Tesla confesaría a John O'Neill, el único biógrafo que lo conoció en vida y lo entrevistó personalmente, autor de la obra *Prodigal genius*, que había comenzado a jugar como un modo de relajación para aliviar la presión que se autoimponía.

Sea como fuere, Nikola se alejó de su familia, quizá avergonzado. Se trasladó a la ciudad eslovena de Maribor, donde encontró su primer trabajo en una empresa de ingeniería, y dedicó el resto de su tiempo a jugar a las cartas y al ajedrez en una conocida taberna. Milutin fue a buscarlo y le rogó que volviera a casa, pero Nikola se negó. Al poco tiempo la policía eslovena le deportó por no tener permiso de residencia y tuvo que regresar forzosamente.

Menos de un mes más tarde su padre falleció a causa de una enfermedad súbita. Tenía sesenta años. El inesperado golpe clausuró el período de dispersión juvenil de Nikola, que abandonó el juego, a la vez que el tabaco, el café e incluso el té, sin concesiones, como era muy propio de su carácter.

Después de la muerte de su padre, Nikola se refugió en su antigua escuela de Gospic, donde ingresó como profesor por mediación de un excompañero de clase que también enseñaba allí. Le gustaba suscitar la pasión de los jóvenes por la ciencia, pero no estaba dispuesto a quedarse en aquel puesto. Fueron sus tíos Petar y Pavel quienes acudieron al rescate, poniendo el dinero para que continuara sus estudios en Praga.

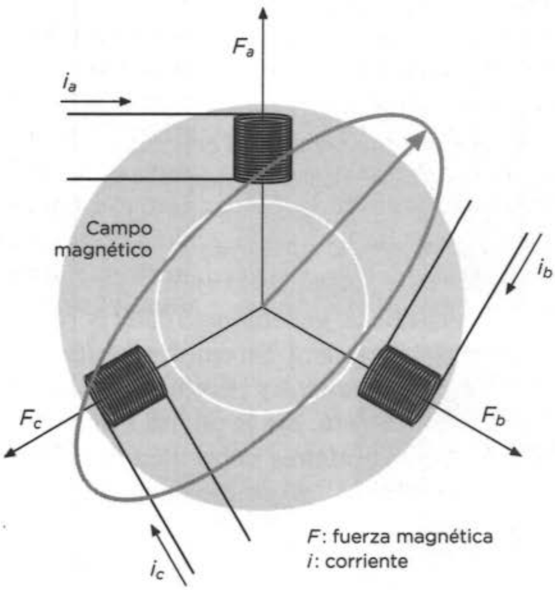
Nikola llegó a la Universidad Karl-Ferdinand en enero de 1880, a mitad del curso lectivo, demasiado tarde para matricularse. Aunque hubiera llegado a tiempo, tampoco le hubieran aceptado porque no había estudiado griego y no hablaba checo. Estuvo asistiendo a las clases como oyente, estudiando en la biblioteca universitaria y frecuentando el Café Popular. También conoció en persona y admiró al físico austriaco Ernst Mach (1838-1916), cuyos importantes descubrimientos en termodinámica influirían mucho más tarde a otro joven estudiante llamado Albert Einstein. Pero, finalmente, Nikola Tesla no consiguió hacerse con ningún título académico.

TESLA INGENIERO: DECEPCIONES Y ESPERANZAS

En 1881 el tío Pavel volvió a ser providencial. Encontró un trabajo a su sobrino en la Oficina de Teléfonos de Budapest, que debía implantar la primera red telefónica húngara. Nikola se incorporó como jefe de electricistas a las órdenes del pionero de la telefonía Tivadar Puskas (1844-1893). Al fin podía ponerse manos a la obra en la materia que tanto ansiaba modelar. Allí se dedicó a mejorar la maquinaria, para lo cual inventó un amplificador de voz que no pensó en patentar y que muchos consideran el primer altavoz. Las ideas hervían en su cabeza.

EL CAMPO MAGNÉTICO ROTATORIO

Para hacer comprensible la idea del campo magnético rotatorio al público no especializado, Tesla empleaba a menudo una analogía hidráulica, equivalente al movimiento generado en un molino al impulsar las aspas con la fuerza del agua circulante, que representaba la corriente eléctrica. Así apareció en un capítulo de su autobiografía *Mis inventos* (1919).



El campo magnético rotatorio se basa en la acción secuenciada de varias bobinas. Para el campo magnético rotativo trifásico (véase la figura), considérense tres bobinas distribuidas sobre un cilindro ferromagnético de hierro con un desfase de 120 grados. En cada una de ellas se inyectan corrientes alternas con el mismo desfase en términos de tiempo. Cada bobina produce un campo magnético estático en el espacio. La amplitud de este campo se encuentra en la dirección del eje magnético de la bobina y varía sinusoidalmente en el tiempo. La combinación de los campos pulsantes producidos por las tres corrientes desfasadas en el tiempo, circulando por las tres bobinas desfasadas en el espacio, se traduce en un campo magnético de distribución espacial sinusoidal que rota a la velocidad de variación de las corrientes en el tiempo.

En aquella época sufrió una de sus crisis, en las que los ruidos fuertes y la luz le causaban los peculiares efectos psicosomáticos que ya se han descrito. Los médicos estaban desconcertados y no resultaron de gran ayuda. Fue la intervención de un buen amigo lo que le hizo recuperar la salud. Anital Szigety, un oficial mecánico amante del deporte con quien trabajaba, le arrastró a hacer ejercicio físico. Fue entonces, en febrero de 1882, acompañando a Anital en un saludable paseo por el parque Varosliget, cuando el serbio resolvió en su mente el problema del motor de corriente alterna mediante la noción del campo magnético rotatorio.

Tesla pasaría largos años de ansiedad perfeccionando esa idea hasta verse capaz de presentarla en condiciones y patentarla. Mientras tanto, continuó con su trabajo en Budapest y dedicó su tiempo libre a diseñar todo tipo de motores y mecanismos de corriente alterna para el aprovechamiento de la electricidad. Quería desarrollar por su cuenta un sistema integral para distribuir y convertir la electricidad en fuerza mecánica. La corriente continua precisaba de generadores cada pocos kilómetros, lo que la encarecía sobremanera. En cambio, el sistema de Tesla permitiría voltajes más elevados y permitiría llevar electricidad a cualquier punto del planeta. Era la puerta a un mundo nuevo, pero él ni siquiera tenía la mínima capacidad financiera necesaria para realizar prototipos.

Tesla y Szigety consiguieron sendos puestos en la Continental Edison Company, la filial europea de la empresa del gran inventor norteamericano, que acababa de abrir una delegación en París. Entusiasmados, los dos amigos se mudaron a una de las capitales más cosmopolitas del planeta, una metrópolis en permanente ebullición. Tesla estaba seguro de convencer a los ejecutivos de la compañía de los enormes beneficios que suponía la corriente alterna, pero en cuanto se incorporó a su puesto descubrió que Edison era un enemigo declarado de ella. Al parecer, por el momento debía limitarse a hacer su trabajo y aprovechar, eso sí, para vivir la vida de un hombre joven en París.

En esos años, Nikola Tesla trabajó para el ingeniero inglés Charles Batchelor, amigo íntimo de Edison y uno de sus más tempranos colaboradores en el laboratorio que aquel había formado





FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
El padre de Nikola, Milutin Tesla, era el párroco de la pequeña localidad croata de Smiljan.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
La madre, Dluca Mandic, mujer de aguda inteligencia, tuvo una gran influencia en la educación del futuro inventor.

FOTO INFERIOR IZQUIERDA:
La casa natal de Tesla, hoy convertida en museo.

FOTO INFERIOR DERECHA:
Tesla en 1879, en su época de profesor en la escuela de Gospic.





años atrás en Newark, Nueva Jersey. A las órdenes de Batchelor, Tesla realizó notables obras, como la instalación del sistema de alumbrado de la Ópera de París, y se convirtió en una suerte de «solucionador de emergencias» itinerante al cargo de todas las centrales francesas y alemanas. Entre tanto, aprovechó los materiales que tenía a su disposición para construir el primer prototipo de su motor. Envalentonado, presentó un plan de mejoras de las dinamos de Edison, que fue recibido con satisfacción. Él esperó alguna clase de recompensa. En su lugar, lo enviaron a Estrasburgo con una misión muy delicada: durante la puesta en marcha de la planta eléctrica destinada a la iluminación del ferrocarril alemán, un cortocircuito había hecho saltar un trozo de pared en presencia del anciano emperador Guillermo I. El Gobierno alemán se había echado atrás con el encargo y la compañía se enfrentaba a pérdidas inimaginables. Según consta en todas sus biografías, los ejecutivos prometieron a Tesla una bonificación muy jugosa si perfeccionaba las dinamos de la planta.

Tesla resolvió todos los problemas técnicos y, además, gracias a su fluido alemán, se metió en el bolsillo al alcalde de la localidad para que le consiguiera inversores interesados en su motor. Los ricos empresarios locales aceptaron presenciar una demostración, pero no captaron las posibilidades del ingenio. Lo único que consiguió Nikola fueron unas cuantas botellas de Saint Estèphe de 1871, una cosecha excelente del año de la anexión de Alsacia-Lorena por el Imperio alemán. Quizá podría financiar su invento él mismo, pensó, con el incentivo que le estaba esperando en París, tal y como le habían prometido sus superiores.

A su regreso, los ejecutivos de la compañía le tuvieron entretenido hasta que comprendió que le habían engañado y no iba a recibir absolutamente nada. Entonces presentó su dimisión. Charles Batchelor, que había advertido su valía desde el primer momento, le sugirió que buscara fortuna en la tierra de las oportunidades, Estados Unidos, e incluso le escribió una carta de recomendación para ayudarle. Para Nikola Tesla no podía haber un momento más dramático y a la vez apropiado. Liquidó todo lo que poseía, reservó pasajes con el dinero que le prestaron sus tíos, e hizo las maletas.

Como un correlato arquetípico de su propia vida, el viaje de Tesla hacia el futuro no estuvo exento de circunstancias extrañas e inesperadas. Según recoge John O'Neill en *Prodigal genius*, en la estación de tren, segundos antes de salir, le robaron el equipaje con el billete de tren y el pasaje para el transatlántico en el interior. Ante la posibilidad de perder el enlace, decidió colarse en el tren con lo poco que llevaba encima. Por fortuna, el dinero que llevaba en los bolsillos fue suficiente para pagar el billete del tren. Llegó al puerto a tiempo y logró zarpar hacia tierras americanas. Le permitieron embarcar porque, habiendo explicado su situación a los oficiales del barco y demostrado su identidad, a la hora de zarpar no acudió nadie a reclamar su reserva. El largo viaje se le hizo extraordinariamente incómodo, pues no llevaba ropa de repuesto. Además en medio del Atlántico se declaró un motín a bordo y estuvo a punto de que lo lanzaran por la borda.

El 6 de junio de 1884, con veintiocho años, Nikola Tesla descendió del buque *Saturnia* y se encaminó por el muelle húmedo y sucio de grasa en dirección a la Oficina de Inmigración de Castle Garden; estaba en Manhattan. Dos años antes de que Francia regalara a Estados Unidos una impresionante estatua diseñada por el escultor Bartholdi y el ingeniero Eiffel, *La Libertad iluminando el Mundo*, el joven Nikola llegaba desde París después de ser víctima, en esa misma Francia, de una estafa y un robo: solo llevaba en los bolsillos algunas monedas sueltas, poemas, artículos científicos y unas cuantas hojas atestadas de cálculos, tachaduras y planos de una máquina voladora. Al día siguiente se encontraría estrechando la mano del genial inventor Thomas Alva Edison, sin sospechar que, al cabo de poco tiempo, aquel hombre al que admiraba se convertiría en su enemigo.

CAPÍTULO 2

La guerra de las corrientes

En los años en que la electricidad comenzaba a implantarse en las ciudades y la industria, su verdadero potencial seguía siendo motivo de debate. El uso de la corriente continua para alimentar grandes redes eléctricas reveló pronto sus limitaciones, pero su obstinado valedor era el todopoderoso Edison. La única alternativa viable era la corriente alterna, defendida por un inmigrante europeo desconocido, Nikola Tesla. La lucha de Edison contra la corriente alterna se conocería como «la guerra de las corrientes».

El 7 de junio de 1884, al día siguiente de su llegada a Estados Unidos, Nikola Tesla puso los pies en una de las primeras centrales eléctricas construidas en la historia. La planta generadora de la Edison Electric Light Company estaba situada en los números 255-257 de la angosta Pearl Street, en el extremo sur de la isla de Manhattan, y abastecía Wall Street y el East River, donde vivían las familias más acaudaladas de Nueva York. A principios de aquel ajetreado verano, la compañía ya había llevado la luz a factorías y teatros, pero sus instalaciones provocaban permanentes quebraderos de cabeza, con averías de toda clase, sobre todo cortocircuitos. A veces se producían incendios, como el que se declaró en la mansión de los Vanderbilt, que exigieron inmediatamente que se retirase la nueva energía de su casa, a pesar de que habían sido sus más tempranos valedores. Los ingenieros y las cuadrillas de peones recorrían la Quinta Avenida arriba y abajo a toda prisa, solucionando las continuas emergencias.

A los treinta y siete años, Thomas Alva Edison ya era un hombre canoso y encorvado, prematuramente envejecido. Cuando un joven alto y delgado de pelo negro, llamado Nikola Tesla, a quien le habían presentado en París, entró aquel día en su oficina, Edison acababa de colgar el teléfono al naviero propietario del *Oregon*, el barco de pasajeros más rápido del mundo y el primero iluminado con luz eléctrica. Las dinamos del *Oregon* habían su-

frido una avería grave y llevaba fondeado bastante tiempo. Para apaciguar el enojo de su dueño, Edison prometió enviarle aquella misma tarde a un ingeniero que en realidad no tenía.

Aquel joven europeo hablaba un inglés con acento británico extremadamente correcto y vociferaba demasiado. Quizá le habían explicado que Edison solo tenía un oído bueno. Traía una carta de recomendación de Charles Batchelor. Edison la leyó en un suspiro, dirigió una mirada suspicaz a su portador y le dijo: «A esto le llamo yo una carta de recomendación. ¿Qué sabe hacer usted?».

Tesla estaba convencido de que su comunión intelectual con Edison, uno de sus dioses admirados, sería instantánea. Le resumió su trabajo para la compañía en Francia y Alemania, y se lanzó a hablar del campo magnético rotatorio y el motor de in-

EL MAGO DE MENLO PARK

El nombre de Thomas Alva Edison (1847-1931) ha quedado grabado en la memoria colectiva como el paradigma del inventor de la Edad Contemporánea. De origen humilde y formación autodidacta, construyó un imperio industrial que le hizo rico y que ha contribuido a dar forma al mundo actual. En 1876 inauguró su mítico laboratorio en la ciudad de Menlo Park, en Nueva Jersey, para investigar la aplicación de toda clase de principios científicos. Allí vieron la luz sus inventos más trascendentales. Entre las más de mil patentes que registró se encuentran la lámpara de filamento incandescente, el fonógrafo y el proyector cinematográfico. Se decía que registraba una patente cada quince días. Pero el genio no carecía de claroscuros: se enzarzó en conflictos por la paternidad de muchos descubrimientos y en guerras de mercado en las que no siempre se comportó noblemente.



Esta fotografía de Edison se realizó en la década de 1880, la época en que conoció a Nikola Tesla.

ducción de corriente alterna. En ese punto, el otro le interrumpió con disgusto: los Estados Unidos habían optado por la corriente continua; en su opinión, la corriente alterna era un disparate peligroso. Aun así, a pesar de aquella discrepancia, le contrató en aquel mismo instante para reparar el *Oregon*. Se estrecharon la mano con un apretón tenso y corto.

Pocas horas más tarde, Tesla subía a bordo del navío cargado de herramientas, con la carta de recomendación de Batchelor todavía en el bolsillo. Conservaría aquella carta el resto de su vida, como si fuera su primer dólar duramente ganado. Charles Batchelor había escrito en ella: «Puedo asegurarle que solo conozco a dos grandes hombres. Usted es uno de ellos. El otro es el joven que lleva esta carta».

LA TIERRA PROMETIDA NO CUMPLE SUS PROMESAS

Los magnates estadounidenses adivinaron con rapidez que la electricidad abría las puertas a un mercado virgen que podía generar beneficios colosales, con el aliciente añadido de ser una frontera inexplorada. Todo el mundo demandaba energía eléctrica, pero pocos sabían dominarla. En Estados Unidos podía contarse apenas con Edison, Joseph Henry o Elihu Thomson (1853-1937), el fundador de una de las primeras compañías eléctricas del país, la Thomson-Houston Electric Company. En este contexto, los empresarios contrataban sin pensarlo dos veces a todos aquellos científicos extranjeros de renombre que buscaban fortuna en el Nuevo Mundo.

En ese paraíso cruel pero preñado de posibilidades se había colado Nikola Tesla con la clara determinación de triunfar. Menos de cuarenta y ocho horas después de haber arribado a Nueva York, había reparado las dinamos del *Oregon* durante toda una noche de trabajo con la única ayuda de la tripulación. Edison se mostró impresionado y no tardó en incorporarlo a su equipo, dándole carta blanca para investigar mientras se encargaba de resolver las emergencias que se presentaran. En aquellos primeros tiempos ideales Tesla competía con su héroe para ver quién aguantaba más

LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

A finales del siglo XIX culminaba un proceso que había comenzado un siglo antes con la aparición de la máquina de vapor de James Watt, en la llamada primera Revolución industrial. Durante cien años la ciencia y la tecnología se convirtieron en las herramientas más poderosas del progreso y revolucionaron la existencia humana forzando el cambio de sus parámetros básicos, como el tiempo. El último episodio, bautizado por los historiadores como la segunda Revolución industrial, fue definitivo, pues el poder transformador de su gran protagonista, la electricidad, alcanzaría hasta el más mínimo detalle de la vida cotidiana del ser humano. Aquel período final se conocería también como el «gran capitalismo»; fue la época en que el régimen económico fundado en el poder del capital como motor de la producción maduró y sentó sus pilares fundamentales. El titán de aquella era fue Estados Unidos, un país con un territorio inmenso y recursos naturales aparentemente ilimitados. El gigante había despertado agitándose en todas direcciones a la vez, ávido de brazos fuertes y talento. El petróleo, el acero o el ferrocarril forjaron las grandes fortunas en las que resuena el mito norteamericano del emprendedor que se hace multimillonario: Carnegie, Morgan, Rockefeller, Guggenheim, Vanderbilt..., apellidos que evocan a hombres sagaces y despiadados, ejemplares para unos y demoníacos para otros.

tiempo trabajando sin dormir. Luego estuvo estudiando el modo de mejorar las dinamos de corriente continua de Pearl Street y presentó el proyecto de un nuevo diseño perfeccionado, más eficiente y económico. Edison supo ver que la operación valía la pena y prometió pagarle 50 000 dólares si la realizaba con éxito.

Tesla trabajó frenéticamente durante meses en la tecnología basada en la corriente continua, en la que no creía. En 1885 ya había rediseñado por completo los veinticuatro generadores de la planta, añadiendo mejoras muy notables, como los controles automáticos, una idea original que patentó la compañía. Sus nuevos diseños se convirtieron en el modelo, en sustitución de los ideados por Edison. Acabada la tarea, acudió en busca de la recompensa prometida. Según el serbio, Edison se carcajeó y le dijo: «No entiende usted el sentido del humor norteamericano». Tesla se sintió burlado y presentó la dimisión. Su jefe intentó retenerlo

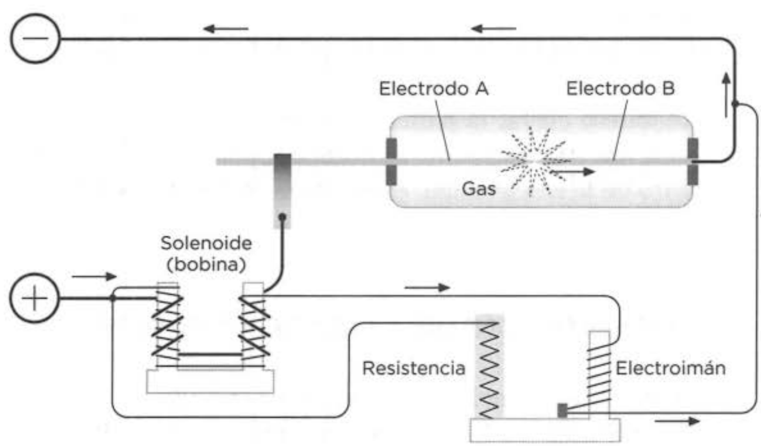
ofreciéndole un aumento de 10 dólares en su salario, que el joven no aceptó. Por aquel entonces cobraba 18 dólares a la semana. En su versión oficial sobre lo sucedido, la compañía explicó que era Tesla quien había ofrecido sus patentes de corriente alterna por 50000 dólares y que Edison, como era natural, se lo había tomado como una broma.

Es posible que al serbio le costara bastante poco mantenerse firme en la defensa de su dignidad, ya que ciertos inversores le habían propuesto fundar una sociedad. No estaban directamente interesados en la corriente alterna, sino en que desarrollara un modelo avanzado de lámpara de arco (figura 1) para hacer frente a la demanda creciente de iluminación de calles y fábricas.

En marzo de 1885, la Tesla Electric Light Company abrió sus puertas en Rahway, no muy lejos de Menlo Park. Tesla se puso manos a la obra y creó una lámpara de arco única, más sencilla, eficiente y segura que las existentes gracias a una serie de minuciosas mejoras algo arduas de exponer en este texto. A esta patente le acompañaron otras que perfeccionaban diversos puntos de una red de alumbrado. La primera patente que consta a nombre del inventor, la patente número 334823, aprobada con fecha del 26 de enero de 1886, presenta un conmutador para máquinas di-

Una lámpara de arco emite luz producida por un arco eléctrico, o arco voltaico. La descarga lumínica se produce entre dos electrodos, normalmente de tungsteno, sometidos a una diferencia de potencial en el interior de una atmósfera enrarecida. Los gases que se emplean son neón, argón, xenón, kriptón, sodio, haluro metálico o mercurio.

FIG. 1



namoeléctricas adaptadas para lámparas de arco. Se trata de un dispositivo que evita la generación de chispas en el conmutador de un aparato eléctrico, del estilo de las de la dinamo Gramme que había estudiado en Graz.

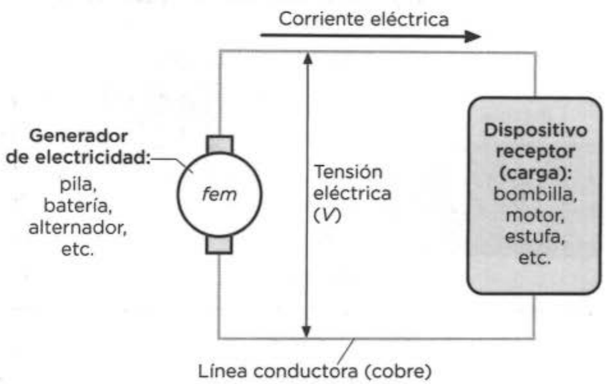
A pesar de haber puesto en ella todo su empeño, la primera aventura empresarial de Nikola Tesla no salió bien. Con su habitual falta de visión empresarial, había acordado que su salario consistiría en acciones de la compañía. Apenas completó el trabajo, se vio fuera de la dirección de la empresa, como un simple accionista. Y al ser la sociedad tan reciente, y estar el país inmerso en otra de las crisis económicas cíclicas del sistema, sus acciones casi no tenían valor alguno. En muy poco tiempo, Tesla encajaba un segundo revés, quizá más duro que el anterior, pues en este caso no disponía de una salida airosa. Aquel europeo movido por ideales comprendía demasiado tarde que la astucia y la falta de escrúpulos eran imprescindibles para prevalecer en el mundo implacable de los negocios.

El declive económico mundial se convirtió en la Larga Depresión. En 1886 Tesla pasó por uno de los períodos más sombríos de su vida. No encontraba trabajo como ingeniero y tuvo que enrolarse como peón en una cuadrilla, cavando zanjas por las calles de Nueva York a dos dólares diarios, que a duras penas le permitían mantenerse hasta el día siguiente. Hacía cuatro años que había concebido el campo magnético rotatorio y vislumbrado sus inmensas posibilidades, pero ahora se preguntaba para qué le habían servido su formación y su pasión por el conocimiento. Allí estaba, intentando clavar la pala en la tierra helada, relegado al trabajo físico, mientras su mente atesoraba la posibilidad definitiva para el futuro de la electricidad: el uso de la corriente alterna.

CORRIENTE CONTINUA FRENTE A CORRIENTE ALTERNA

¿Cuál es la diferencia entre corriente continua y corriente alterna? ¿Por qué motivos la corriente continua era un callejón sin salida para la generalización de la electricidad y la corriente alterna la

FIG. 2



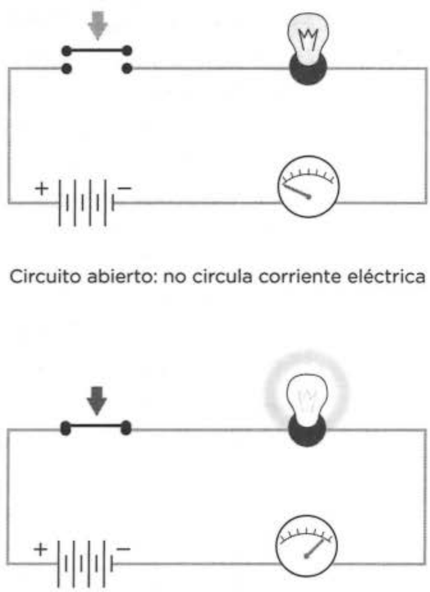
Un circuito es una red eléctrica que contiene al menos una trayectoria cerrada, donde una fuente generadora de electricidad envía corriente eléctrica (flujo de electrones) a través de una línea conductora para realizar algún trabajo en un dispositivo receptor (encender una bombilla, mover un motor, etcétera).

única esperanza de futuro? Para comprenderlo, es necesario saber algo más sobre la corriente eléctrica.

La corriente eléctrica se define como el movimiento de cargas eléctricas. Las partículas cargadas se mueven por un camino, como puede ser un cable eléctrico, y normalmente se dirigen hacia algún punto donde se espera que realicen algún tipo de trabajo. Este trazado, con «calles» y «puntos de destino», es un *circuito* (figuras 2 y 3).

La magnitud que se usa para cuantificar la corriente eléctrica es la *intensidad* de corriente, llamada «corriente» sin más; su unidad es el amperio. De modo parecido a lo que sucede en el principio de los vasos comunicantes, cuando dos cuerpos están car-

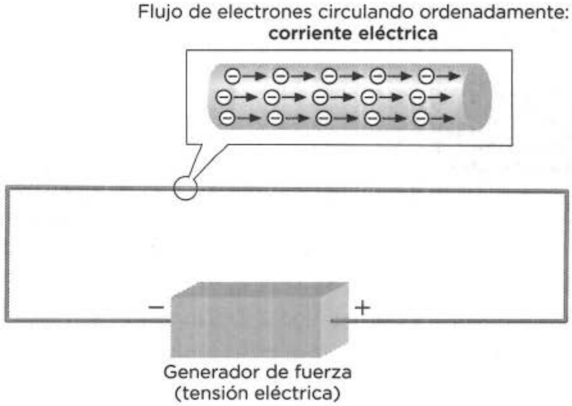
FIG. 3



Circuito abierto: no circula corriente eléctrica

Circuito cerrado: circula corriente eléctrica

FIG. 4



gados con cantidades de cargas distintas existe entre ellos una diferencia de potencial eléctrico, lo que se conoce como *tensión* (figura 4). Si los cuerpos están conectados, como en un circuito, la carga tiende a igualarse. La unidad de tensión es el voltio. Inicialmente se pensó que el flujo de una corriente eléctrica por un conductor se debía al desplazamiento de cargas positivas (protones) desde el punto de mayor al de menor potencial. Hoy se sabe que se debe al movimiento de los electrones (carga negativa). Pese a esta evidencia, por convención (y por tradición), se toma como sentido de la corriente el que va del polo positivo al negativo, que es lo contrario a lo que sucede realmente (figuras 5 y 6).

Como se ha dicho, entre dos cuerpos con diferencia de cargas eléctricas y puestos en contacto a través de un conductor, por ejemplo un hilo metálico, la corriente se detendrá en cuanto se igualen los potenciales. La facilidad y eficiencia con que fluyen las cargas depende en gran medida del tipo de material conductor que las una y se expresa mediante una propiedad llamada *resistencia eléctrica*. El cometido de los generadores eléctricos consiste en provocar y mantener entre dos puntos unidos por conductores una diferencia de potencial eléctrico que dé lugar a una corriente eléctrica ininterrumpida.

FIG. 5

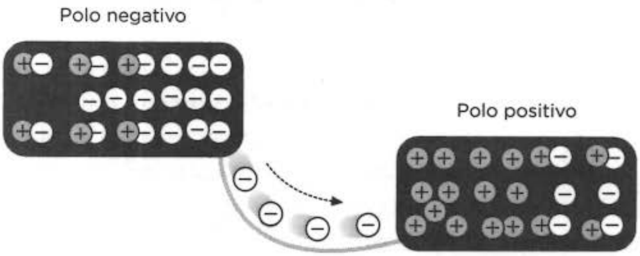
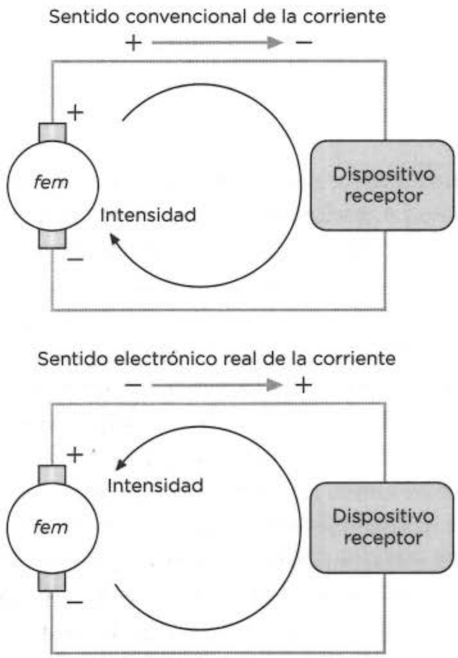


FIG. 6



La diferencia entre corriente continua y corriente alterna estriba en el sentido en que se mueven las cargas. La corriente continua (CC, o DC en el inglés *direct current*) circula siempre en un mismo sentido y sus valores instantáneos son constantes en el

FIG. 7

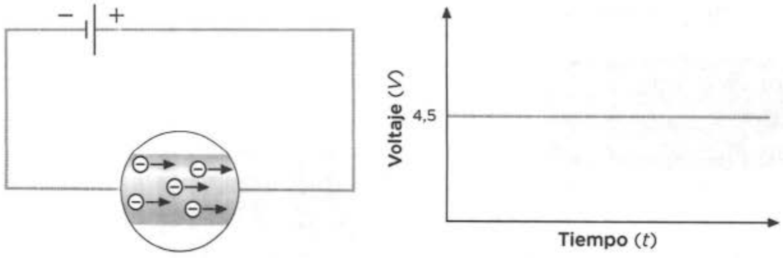


FIG. 8

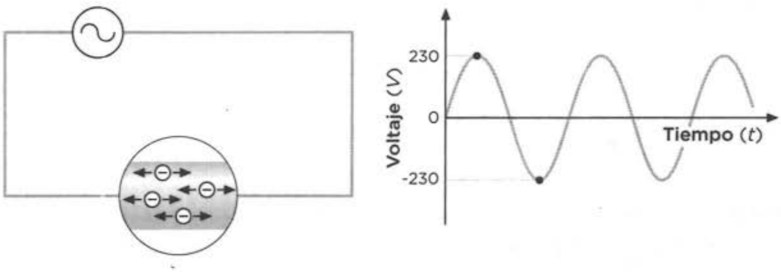


FIGURA 7: **En la corriente continua las cargas circulan en el mismo sentido. Los terminales de mayor y menor potencial son siempre los mismos. El voltaje (*V*) es constante en el tiempo (*t*).**

FIGURA 8: **En la corriente alterna el sentido y la magnitud del movimiento de las cargas varían cíclicamente. La fluctuación es debida a la alternancia (regular) de la polaridad de los bornes del generador.**

tiempo (figura 7). Habitualmente, también se habla de corriente continua cuando la corriente, no siendo constante en el tiempo, no experimenta cambios de sentido en el movimiento de las cargas. La forma más habitual y conocida de la corriente continua es la producida por las pilas y baterías eléctricas.

En cambio, la corriente alterna (CA, o AC en el inglés *alternating current*) es aquella cuyos valores instantáneos se rigen por una función periódica del tiempo, de modo que el flujo de electrones dentro de un circuito se produce de forma cíclica. El período de flujo de carga en un sentido y después en el sentido opuesto constituye un ciclo completo. La rapidez con que se produce la alternancia de polaridad se caracteriza mediante la frecuencia, que se expresa en hercios (Hz), y cuantifica el número de ciclos que ocurren por unidad de tiempo, esto es en un segundo. Una frecuencia de 60 Hz significa que las corrientes que existen en el conductor ejecutan 60 oscilaciones completas (ciclos) cada se-

gundo y, por tanto, realizan 120 cambios de sentido cada segundo. Esta frecuencia es demasiado alta para que el ojo humano observe este tipo de fluctuaciones en la intensidad de la luz de una bombilla, por ejemplo.

El tipo de corriente alterna más común es la sinusoidal (figura 8), producida generalmente por un tipo de generador llamado *alternador*. Su funcionamiento se basa en el cambio de la polaridad del voltaje del generador a intervalos regulares y permite conseguir una transmisión más eficiente de la energía. La corriente alterna puede transformarse en continua por medio de un dispositivo llamado *rectificador*.

EL EFECTO JOULE

Durante los meses en que Edison y Tesla colaboraron, la corriente continua ya había revelado sus limitaciones. A pesar de su tamaño desmesurado, la central de Pearl Street no conseguía superar su límite en el abastecimiento: su capacidad había alcanzado a iluminar 508 domicilios y 10 164 lámparas. Para Edison, aquella falta de rentabilidad era angustiosa. El gas, la fuente de energía hegemónica en aquel momento, resultaba mucho más barato. ¿Cuál era el problema en Pearl Street?

La electricidad puede convertirse en luz y calor gracias a un fenómeno extremadamente importante: el efecto Joule. Se conoce como efecto Joule —en honor a su descubridor, James Prescott Joule (1818-1889)— el fenómeno por el cual, durante el flujo de cargas eléctricas por un conductor, estas pierden movilidad, que se manifiesta como radiación.

Gracias al conocimiento de la estructura atómica y los fenómenos eléctricos, es posible comprender que este efecto se produce porque los electrones que forman la corriente eléctrica «chocan», por expresarlo de un modo gráfico, con los átomos del material por el que fluyen, de modo que ceden energía cinética que se transforma en energía térmica. Cuando una resistencia se calienta, se observa una transferencia de calor al entorno inme-

diato. Por ese motivo todos los dispositivos eléctricos que se utilizan para calentamiento se basan en este efecto. El efecto Joule también se manifiesta en otro dispositivo básico: las bombillas de filamento incandescente, perfeccionadas por Edison.

A pesar de su utilidad, el efecto Joule también tiene implicaciones negativas, y estas eran las que traían de cabeza a Edison y su equipo en los tiempos pioneros de Pearl Street. Del mismo modo que se puede usar para irradiar luz y calor, el fenómeno acarrea implícitamente la pérdida de energía durante el transporte de la electricidad para su suministro masivo. La potencia proporcionada por los generadores de Edison se disipaba en los conductores que transportaban la corriente hasta el lugar de destino. Para solventar el problema se aumentó el grosor de los mismos, pero esta solución presentaba serias limitaciones debido al elevado coste y al peso de los cables, que podía llegar a impedir el tendido de líneas aéreas. Para transportar electricidad por corriente continua a grandes distancias o distribuirla por la ciudad había que instalar centrales intermedias cada pocos kilómetros. Los vecinos se quejaban de que eran ruidosas y feas, y además requerían un mantenimiento constante, por lo que el sistema no resultaba cómodo ni rentable. La corriente alterna era la solución, pero ¿por qué?

Según la ley de Ohm —formulada en 1827 por el físico y matemático alemán Georg Simon Ohm (1789-1854)—, la intensidad de la corriente (I) se puede expresar como

$$I = \frac{V}{R},$$

donde V es el voltaje o fuerza electromotriz. La resistencia (R) cuantifica la oposición que presenta un conductor al paso de corriente eléctrica; su unidad es el ohmio (Ω).

Los experimentos con corrientes habían demostrado que la electricidad tenía muchas menos pérdidas cuando fluía a un ritmo lento, esto es, con menor intensidad de corriente. Así, para transportar energía eléctrica directamente a un punto de consumo recorriendo largas distancias desde el punto de generación o almacenamiento, era necesario hacerlo mediante una transmisión

LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia eléctrica depende de tres parámetros, la longitud (l), el área transversal (S) del conductor y el coeficiente de resistividad, también llamado resistividad especifica del material (ρ), precisamente porque es característico de cada elemento. El cobre es uno de los metales con una menor resistividad específica.

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Esta expresión para la resistencia viene a formular que, cuanto mayor es la longitud, mayor es la resistencia, y cuanto mayor es el coeficiente de resistividad, también la resistencia es mayor. Sin embargo, cuanto mayor es la superficie transversal, menor es la resistencia, lo que se puede usar para evitar disipación de la corriente por calentamiento. Justamente eso es lo que muestra la ley de Joule, sobre la conversión de electricidad en calor (Q) y luz, expresada en términos de la ley de Ohm:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t.$$

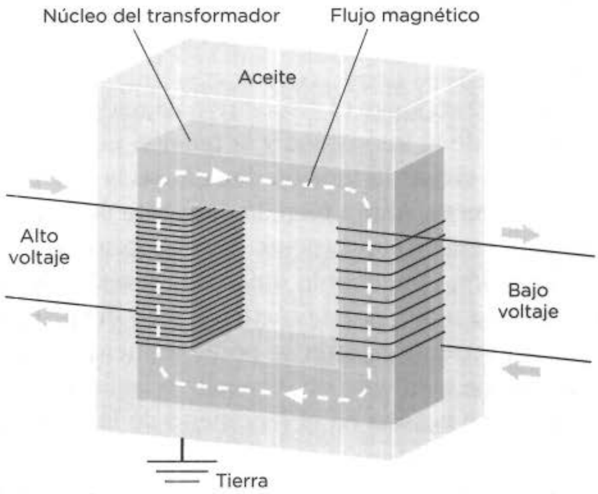
alimentada con alta tensión. Sin embargo, las altas tensiones eran peligrosas para el uso doméstico. Era necesario poder manipular la potencia eléctrica, reducir la intensidad de la corriente durante el transporte y luego elevarla otra vez en la estación receptora. ¿Cómo hacer tal cosa?

En este punto entró en juego el dispositivo llamado *transformador*. De la relación de la intensidad y la tensión por la ley de Ohm se deduce que al elevar la tensión disminuye la intensidad de la corriente, y viceversa. Ahora bien, la corriente continua no podía someterse fácilmente a este proceso de transformación. Era posible elevar su tensión conectando dinamos en serie, pero se tratataba de un sistema lento, poco práctico y muy costoso. Por el contrario, con la corriente alterna se podía aumentar y reducir fácilmente su voltaje mediante un dispositivo transformador, cuyo funcionamiento se basaba en el fenómeno de la inducción electromagnética.

Haciendo caso omiso de los consejos de sus técnicos, cada vez más preocupados, Edison seguía empecinado en ignorar el

CÓMO FUNCIONA UN TRANSFORMADOR

Los transformadores son dispositivos eléctricos usados para cambiar el voltaje de la electricidad que fluye en un circuito, y se pueden utilizar tanto para aumentar el voltaje (intensificación) como para disminuirlo (reducción). Para hacerlo trabajan según el principio de inducción electromagnética. Un material conductor enrollado en un anillo de hierro, en forma de bobina, lleva la corriente alterna a un lado del transformador. Esa corriente crea un campo magnético en el núcleo de hierro, que a cambio produce una corriente en el conductor al otro lado del transformador, sobre una segunda bobina de material conductor. El núcleo de hierro se halla sumergido en un baño de aceite, que no conduce bien la electricidad. Los transformadores solo operan con circuitos de corriente alterna. Como la corriente alterna en el conductor de entrada cambia constantemente, el flujo magnético creado también cambia. Ese mismo campo magnético variable es lo que genera el flujo de corriente en la bobina de salida. Las dos bobinas no están conectadas físicamente y una de ellas tiene más vueltas que el otro conductor. Es precisamente debido a los diferentes números de vueltas que el voltaje y la corriente son distintos en cada bobina. El diseño de un transformador con el número correcto de vueltas permite controlar exactamente cuánto cambia el voltaje entre la entrada y salida del transformador. Los transformadores son dispositivos pasivos que no agregan energía al circuito, pero bajo condiciones normales funcionan con gran eficacia, transmitiendo aproximadamente el 99 % de la energía entrante. Apenas un 1% de la energía se pierde en el calentamiento.



hecho de que la corriente continua desperdiciaba mucha energía y nunca podría abastecer grandes áreas. Había invertido montañas de dinero en implantar su sistema y creía que sus bombillas no lograrían funcionar de otro modo. Cualquiera que se atreviera a ambicionar un pedazo del pastel eléctrico tendría que vérselas primero con él, y estaba seguro de que todavía tardaría en aparecer alguien con los suficientes arrestos. Por lo pronto, uno de sus posibles enemigos, el extranjero Nikola Tesla, ya estaba literalmente hundido en el fango.

DE LA FOSA A LA CIMA

A finales de 1886 Nikola Tesla languidecía en un taller. A través de su jefe, a quien también le había hablado de su motor de inducción, conoció a dos posibles inversores que estaban al tanto de las perspectivas que ofrecía la corriente alterna: Alfred S. Brown, el director de la empresa de telegrafía Western Union, y el abogado neoyorquino Alfred F. Peck. Ambos encontraron interesantes sus ideas, pero tenían muchas dudas; en particular, no acababan de captar el alcance y las posibilidades del campo magnético rotatorio.

Según menciona en sus memorias y recogen todas sus biografías, en ese momento Tesla tuvo un golpe de genio al recordarles la historia del huevo de Colón. Relata Girolamo Benzoni en su *Historia del Nuevo Mundo* (1565) que en una cena con diversos nobles tras el regreso de Cristóbal Colón de América, algunos comensales insinuaron maliciosamente que cualquiera podía haber descubierto el Nuevo Mundo y que su único mérito había consistido en perseverar navegando hacia el oeste. Entonces Colón pidió que le trajesen un huevo y desafió a los presentes a que intentaran colocarlo de pie sobre la mesa. Tras muchos intentos, nadie lo consiguió, y se llegó a decir que era imposible. Colón tomó el huevo y, con un golpe certero y mesurado, acható la base sin romperla. Los comensales observaron asombrados que el huevo se sostenía en pie. El descubridor argumentó entonces que había

logrado lo que parecía imposible porque conocía el método para hacerlo, de igual modo que había conocido el camino a las Indias. Tesla propuso a Brown y Peck el mismo desafío —poner en pie un huevo, pero en esta ocasión mediante la electricidad—, y ellos aceptaron divertidos.

Entonces, el serbio construyó una extraña máquina que consistía en un cuenco metálico conectado a un generador. Ante la mirada expectante de los inversores, colocó un huevo de cobre en el cuenco y puso en marcha el aparato. El huevo comenzó a girar sobre su costado. Giraba cada vez más rápido, tambaleándose a uno y otro lado. Alcanzó una velocidad vertiginosa y de pronto se puso en pie y siguió rotando en perfecta estabilidad. Tesla explicó que estaba «sostenido» por un campo magnético rotatorio.

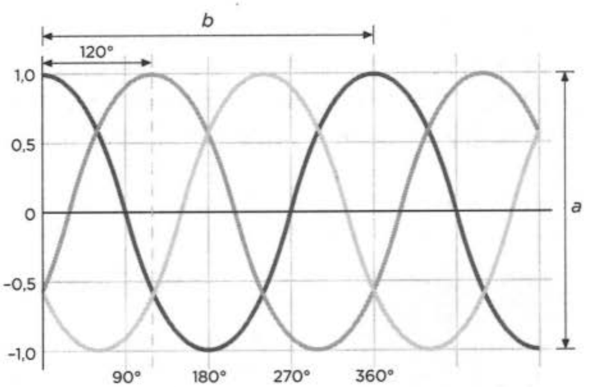
En abril de 1887, la nueva empresa formada junto a Peck y Brown, la Tesla Electric Company, instaló su laboratorio en el 89 de Liberty Street. Al fin se le presentaba a Tesla la oportunidad de poner en práctica las ideas que bullían en su cabeza desde hacía tantos años. Entonces pudo abrir todas las compuertas de su mente y zambullirse en el trabajo con su proverbial entrega. En poco tiempo patentó íntegramente su sistema polifásico de corriente alterna, que incluía el diseño de generadores, motores, transformadores y controles automáticos, y una red de distribución completa.

No solo Edison era ahora su competidor. Por todo el país había numerosas centrales eléctricas con circuitos e instalaciones de todo tipo desarrollados a medida: se habían fabricado alternadores y transformadores; se trabajaba en la búsqueda de cableados seguros para los hogares... Pero el reto seguía siendo el motor de corriente alterna satisfactorio. Cuando se hizo público el motor de Tesla, un ingenio tan sencillo que parecía carecer de piezas que pudieran estropearse, todo pareció obvio. La empresa de Tesla inundó la oficina de patentes y su nombre pronto llegó a Wall Street y a los principales círculos empresariales y académicos. Fueron muchos los que comprendieron de inmediato el calado de aquellas ideas.

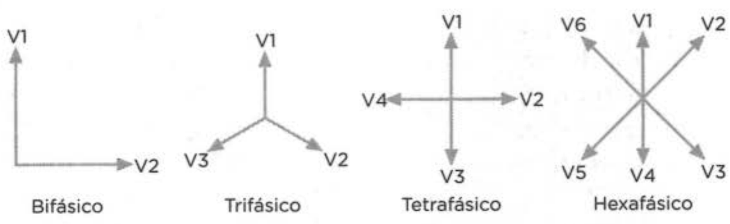
Aquel mismo año también iniciaba su andadura una institución que señalaba la madurez del sector de la electricidad. El inge-

EL SISTEMA POLIFÁSICO

El sistema polifásico, una opción característica de la corriente alterna, consiste en la combinación de varias corrientes alternas que circulan por circuitos idénticos. Aun teniendo el mismo período (la duración de un ciclo o flujo de electrones en un determinado sentido), fluyen con una determinada diferencia de fase constante. El sistema trifásico es el más empleado en electrotecnia; está formado por tres corrientes alternas desfasadas 120°. También es común la versión bifásica, formada por dos corrientes alternas de igual amplitud desfasadas entre sí un cuarto de ciclo, es decir, 90°. Históricamente han existido sistemas con un mayor número de fases, como por ejemplo hexafásicos y dodecafásicos, destinados a la alimentación de rectificadores con el propósito de obtener una tensión continua poco ondulada.



Representación del voltaje de las fases de un sistema trifásico. Entre cada una de ellas existe un desfase de 120°.



Representación vectorial de los sistemas polifásicos más comunes.

niero eléctrico Thomas Commerford Martin (1856-1924), antiguo colaborador de Edison y editor de la publicación más prestigiosa sobre la electricidad, *Electrical World & Engineer*, impulsó la fundación del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos. El AIEE (American Institute of Electrical Engineers) se dedicó a poner en orden el sector y a dar a conocer los últimos avances. Todos los científicos, inventores o industriales de la electricidad se afiliaron de inmediato y lo aceptaron como la máxima autoridad en la materia. T.C. Martin estaba convencido de que las ideas de Tesla, a quien había conocido en París, representaban un punto de inflexión decisivo en la tecnología de la electricidad. Como primer presidente del AIEE, Martin se convirtió en el mejor aliado de Tesla en un terreno totalmente desconocido hasta entonces para el inventor: las relaciones públicas. Fue su mediación la que proporcionó al serbio uno de los momentos de mayor éxito de su carrera: la conferencia de la Universidad de Columbia ante los miembros del AIEE, la flor y nata de la industria de la electricidad en Estados Unidos.

El 16 de mayo de 1888 Tesla pronunció su conferencia, bajo el título «Un nuevo sistema para motores y transformadores de corriente alterna». El serbio describió su sistema sin dejar ni un solo cabo suelto, detallando claramente incluso el armazón matemático que lo sustentaba, y se ganó a la audiencia por completo. Entre el público estaba el ingeniero e inventor de origen inglés Elihu Thomson, que había ideado un generador de corriente alterna no del todo optimizado en 1878 y llevaba mucho tiempo buscando sin éxito lo que Tesla acababa de presentar. Asimismo, se encontraba allí el también serbio Michael Pupin (1858-1935), profesor de Columbia, cuyas innovaciones siempre fueron por detrás de las de su compatriota. Anital Szigety, el mejor y más antiguo amigo de Tesla, tampoco faltó a la cita, y pudo admirar el diseño definitivo del garabato del parque Varosliget. Tesla le había llamado para incorporarlo a su última empresa como ayudante de laboratorio. Sin embargo, el oyente de la conferencia que resultaría más trascendental para el futuro inmediato del serbio era un partidario convencido de la corriente alterna, el rival número uno de Edison: el multimillonario George Westinghouse.

LA GUERRA SUCIA DE EDISON

A diferencia de los otros grandes millonarios de aquel período, George Westinghouse, el magnate de Pittsburg, tenía alma de inventor; no en vano había hecho su fortuna con innovaciones determinantes para el ferrocarril, como el freno de aire comprimido, que fue esencial para su rápida y prodigiosa extensión. En su mente bullían monumentales proyectos. Por ese motivo, había comprado las patentes de los europeos Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs, los inventores del primer transformador de corriente alterna, y en noviembre de 1886 había instalado en la ciudad de Buffalo, en el estado de Nueva York, la primera red comercial de corriente alterna de Estados Unidos. En 1887 ya disponía de treinta centrales operativas. Trabajaba con un sistema monofásico, es decir, basado en el flujo electrónico por una única corriente, pero la demanda de electricidad no dejaba de crecer, ya no solo para llevar luz y calefacción a los hogares, sino también

GEORGE WESTINGHOUSE

Principal valedor de Tesla y enemigo directo de Edison en la guerra de las corrientes, el ingeniero y multimillonario George Westinghouse es también famoso por una larga serie de inventos por los que obtuvo más de cuatrocientas patentes. El que tuvo mayor repercusión era un freno de aire comprimido que en décadas posteriores tendría múltiples aplicaciones, sobre todo en los ferrocarriles; también fue el responsable de un motor rotatorio, de las agujas de cruce ferroviarias y de un sistema de tuberías para el gas. En 1901 fue candidato al premio Nobel de Física, que finalmente recayó en Wilhelm Conrad Röntgen, el descubridor de los rayos X.



para nuevos servicios como los tranvías eléctricos, y necesitaba soluciones para ser más cada vez más eficiente y aumentar la capacidad de abastecimiento de su empresa, la Westinghouse Electric Company.

Tesla y Westinghouse hicieron buenas migas desde el primer momento. El norteamericano era un hombre afable y educado, en contraste con la tosquedad con que el serbio se había topado hasta el momento. También coincidieron en cuestiones personales: Tesla era un maniático de la higiene personal y la pulcritud en el vestir y, en este punto, Westinghouse era un hombre exquisito, mientras que Edison era célebre por su dejadez.

Las biografías de Tesla suelen asegurar que el magnate ofreció al inventor un millón de dólares más un porcentaje por los derechos de todas sus patentes de corriente alterna. Sin embargo, en los archivos de la empresa Westinghouse consta que el pago fue de 25 000 dólares en efectivo, 50 000 en acciones de la compañía y 2,5 dólares por cada caballo de potencia generado. El caballo de potencia (en inglés, hp, por *horsepower*) es una medida anglosajona de la potencia eléctrica equivalente a 0,75 kilovatios. Como fuere, el 7 de julio de 1888 cerraron un acuerdo satisfactorio y duradero. Tesla se trasladó durante un tiempo a Pittsburg, adonde regresaría con frecuencia en los años siguientes para asesorar al equipo de ingenieros de Westinghouse en la construcción de sus motores y la adaptación del sistema monofásico a su sistema polifásico.

La noticia del entendimiento entre Tesla y Westinghouse llegó a oídos de Edison. Desde sus inicios, en que tuvo que enfrentarse al oligopolio del gas, el inventor había sabido relacionarse bien con los medios de comunicación. De inmediato puso en marcha su maquinaria y comenzó una guerra de propaganda contra la corriente alterna. Su estrategia fue convertir en un defecto, ante la opinión pública, lo que era en realidad la principal ventaja de la corriente alterna: el hecho de que hubiera que elevarla a miles de voltios para transportarla, afirmaba, la hacía extremadamente peligrosa. Su virulenta campaña en periódicos, folletos y mediante el boca a boca incluía demostraciones públicas de los peligros del alto voltaje mediante la electrocución de animales con corriente

alterna. La prensa le siguió el juego, dando un eco desmesurado a los accidentes ocasionales relacionados con la corriente alterna y, por otro lado, negando atención al hecho de que el voltaje de la corriente alterna volvía a bajar al llegar a las casas, de manera que su uso para el consumo doméstico no podía matar a nadie. La corriente alterna resultaba completamente segura.

Cuando se abrió la veda del descrédito, llovieron los oportunistas que pirateaban las patentes aprovechándose de que en aquella época tardaban varios años en aprobarse y, a la inversa, también proliferaron los demandantes de la competencia que aseguraban que sus inventores se habían adelantado a Tesla. Con el tiempo, todas aquellas disputas se resolverían con fallos a favor del serbio, pero tardaron tanto que el ruido mediático confundió a la opinión pública, que no supo qué pensar.

«La ciencia no es sino una perversión de sí misma, a menos que tenga como objetivo final el mejoramiento de la humanidad.»

— Nikola Tesla.

La guerra de las corrientes alcanzó un clímax particularmente siniestro. Desde 1886, el estado de Nueva York buscaba un sistema de ejecución rápido e indoloro para reemplazar a la horca, que había protagonizado episodios truculentos en los últimos tiempos. En el primer momento se había planteado la posibilidad de emplear algún sistema eléctrico, símbolo de todo lo moderno, pero, como es lógico, ni Edison ni Westinghouse permitieron el acceso a «sus corrientes» para no vincularlas con el asesinato de seres humanos. Sin embargo, más tarde, en lo más turbio de la guerra de las corrientes, Edison puso a sus empleados a trabajar en esa idea.

En los alrededores del laboratorio de Edison en West Orange, Nueva Jersey, a donde se había mudado en 1887, los vecinos advirtieron que sus mascotas desaparecían. Al poco tiempo se descubrió que Edison pagaba 25 centavos a los niños que le llevaran perros y gatos. De vez en cuando, incluso se veía entrar caballos. El olor que despedía el laboratorio era insopor-

table y de él llegaban sonidos pavorosos. Todo se destapó con un último espectáculo incomparable: la electrocución de un elefante que había aplastado a tres cuidadores. Para probar la capacidad mortífera de la corriente alterna, la antigua estrella de circo *Topsy*, un elefante hembra muy irascible, fue electrocutada con 6600 voltios.

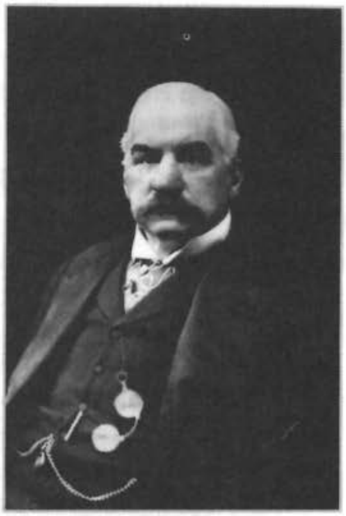
Finalmente, el estado de Nueva York aprobó la silla eléctrica por corriente alterna como método de ejecución, y el 6 de agosto de 1890 William Kemmler, condenado a muerte por homicidio, tuvo el dudoso honor de ser el primer hombre ejecutado por este método. Edison se había preocupado de congregar a un ejército de periodistas y curiosos en el exterior de la prisión, pero la jugada le salió muy mal. Los cálculos de sus técnicos sobre la potencia necesaria para matar a un ser humano eran incorrectos, e hicieron falta varios intentos para acabar con el reo en medio de una agonía horrenda. La prensa narró el drama con todo lujo de detalles y se suscitó un clamor popular en contra de un sistema que se revelaba todavía más inhumano.

EL MAL PASO DE TESLA

Ocupado en litigios de patentes, Westinghouse no prestaba demasiada atención a los ataques de Edison. Le preocupaba mucho más un problema en ciernes: la adaptación del sistema monofásico estaba resultando más cara de lo esperado. Además, Tesla no siempre se entendía con los ingenieros de Pittsburg. Sus motores usaban corriente de 60 hercios (Hz), mientras que el sistema de Westinghouse lo hacía a 133 Hz. Se perdieron varios meses en medio de recriminaciones y experimentos fallidos y costosos, que acabaron dando la razón al inventor y sentando la norma de la corriente alterna en Estados Unidos (en Europa es de 50 Hz). Este episodio puso de manifiesto uno de los peores defectos de Tesla: su dificultad para trabajar en equipo, que le conduciría al aislamiento intelectual y a la pérdida de gran parte de su capital creativo.

EL BANQUERO IMPLACABLE

Si Edison ha pasado a la historia como el paradigma del inventor genial, John Pierpont Morgan (1837-1913) encarnó el mito del gran capitalista, el otro gran «héroe» del período. Fue uno de los banqueros más poderosos de la historia y uno de los hombres más ricos del planeta, que llegó a controlar las finanzas mundiales. Se especializó en comprar empresas con problemas para reflotarlas y en reorganizar los sectores pujantes mediante estrategias orientadas a la eliminación de la competencia y la creación de grandes corporaciones que aún existen hoy en día. Controló el acero, el ferrocarril, el petróleo y el carbón, y se hizo fuerte en la electricidad, a menudo actuando como árbitro. Su trayectoria estuvo acompañada de encarnizadas batallas financieras.



John Pierpont Morgan

El golpe más letal, embargo, vendría de los mercados financieros, y Westinghouse no sería el único perjudicado. Si él comenzaba a tener problemas para financiar su esfuerzo, a su rival también le pasaba otro tanto. El principal accionista de la Edison Electric Company era el multimillonario John Pierpont Morgan (1837-1913), a quien le importaba poco qué corriente debía electrificar el país. El gran financiero estaba aplicando en la electricidad la misma estrategia que le había dado la hegemonía en otros sectores estratégicos de la industria: eliminar a la competencia comprándola o hundiéndola al reventar los precios. Recientemente había adquirido la Thomson-Houston Company y entonces obligó a Edison a fusionarse con ella. La nueva compañía se convertiría en un auténtico gigante y fue bautizada con el nombre de General Electric; hoy en día es una corporación multinacional muy diversificada. Su siguiente movimiento fue intentar captar

a Westinghouse para el conglomerado. El magnate de Pittsburg, cuya visión empresarial era muy distinta, prefirió mantener su independencia.

«El científico no tiene por objeto un resultado inmediato. Él no espera que sus ideas avanzadas sean fácilmente aceptadas. su deber es sentar las bases para aquellos que están por venir, y señalar el camino.»

— Nikola Tesla.

Al ver que no se sometía a sus dictados, Morgan se dedicó a perjudicar a Westinghouse en los mercados a través de movimientos bursátiles y rumores infundados, hasta que logró que el valor de sus acciones se desplomara. Para el magnate de Pittsburg, la única posibilidad de mantenerse a flote era la fusión con compañías más pequeñas, pero incluso esa operación resultaba demasiado onerosa. Sus asesores le persuadieron de que el mayor escollo era el acuerdo que había firmado con Tesla. El inventor disponía de tantas patentes fundamentales y la producción de potencia de su sistema era tan elevada que aquel contrato, con la concesión de los 2,5 dólares por caballo de potencia, le iba a convertir en uno de los hombres más ricos del planeta. Por aquel entonces, cuatro años después del acuerdo, debía cobrar ya 12 millones de dólares. El importe futuro era inimaginable.

A su pesar, Westinghouse citó a Tesla para una reunión de urgencia. El magnate defendía el contrato, que le parecía adecuado a la aportación del inventor, pero era preciso plantearle la situación, porque el empeño mutuo estaba en peligro. Es de suponer que nunca imaginó el sorprendente desenlace de la reunión, uno de los momentos más amargos y vergonzosos de su vida, hasta el punto de silenciarlo en sus memorias. Fue Tesla quien recogió el episodio en su autobiografía, por lo que solo se dispone de su versión.

Tras escuchar el problema, el serbio valoró el asunto. Siempre estaba inmerso en sus investigaciones y prestaba escasa atención a sus finanzas, pero sabía que si demandaba a Westinghouse

ganaría con seguridad. Por otro lado, si no establecían un nuevo acuerdo, el otro perdería su empresa y el control del negocio. El magnate le aseguró que consideraba su invento como el hallazgo más importante que se había realizado en el campo de la electricidad y que no tenía intención de renunciar al sueño de hacerlo asequible a todo el mundo. En realidad, la única preocupación de Tesla era que su sistema siguiera adelante. Westinghouse había creído en él cuando nadie más lo hacía y le había prestado su apoyo en los momentos difíciles. En vez de negociar una rebaja de los porcentajes, le dijo: «Puede olvidarse del problema de mis beneficios». A continuación, rompió su contrato ante la mirada atónita del millonario.

Tesla renunciaba al cobro de millones de dólares que ya había ganado y a unos beneficios futuros imposibles de calcular. A cambio recibió un solo pago de 216 600 dólares por sus patentes, sin derechos. A la luz de los problemas financieros que tendría más adelante, que llegarían a frustrar sus planes, esta acción se podría interpretar como el mayor error de toda su vida.

Corría el año 1890. En noviembre, retirado en su laboratorio durante la polémica de la silla eléctrica, Tesla había hecho un descubrimiento fundamental hacia el que estaba reorientando su trabajo: la energía inalámbrica. Para él la corriente alterna era ya agua pasada y solo pensaba en explorar la nueva frontera. Dedicaría los siguientes diez años de su vida a investigar sus posibilidades, interrumpido solamente por el capítulo final de la guerra de las corrientes, que culminó en 1893, cuando él tenía la mente ocupada en muchas otras cosas.

EL FIN DE LA GUERRA DE LAS CORRIENTES

Westinghouse cumplió lo prometido. No solo continuó adelante con la implantación de la corriente alterna, sino que convirtió el negocio en un enorme imperio y siempre reconoció el mérito de su inventor. En 1891 se pusieron en marcha por primera vez los motores y generadores de Tesla fabricados por Westinghouse

en la ciudad minera de Telluride, en Colorado, en la central hidroeléctrica de Ames, que fue la primera del mundo en distribuir corriente alterna de alto voltaje a larga distancia. Aquel mismo año el inventor dio otra conferencia ante el AIEE sobre iluminación con corriente alterna de alta frecuencia, y Tesla dejó de ser oficialmente un extranjero para convertirse en ciudadano norteamericano, un acontecimiento por el que siempre manifestaría gran orgullo.

Dos grandes eventos se presentaban en el horizonte inmediato. Por un lado, Chicago preparaba la Exposición Universal que debería conmemorar el cuarto centenario del descubrimiento de América: sería la primera exposición de la historia que dispondría de luz eléctrica y se había abierto la convocatoria de presentación de proyectos para instalar los equipos eléctricos. Por otra parte, se había formado una comisión para adjudicar los derechos de explotación de las cataratas del Niágara. El magnate de Pittsburg concentró sus energías en conseguir alguno de aquellos contratos.

En 1892, Westinghouse ganó el contrato para electrificar la Exposición Universal gracias a un sistema diseñado por Tesla que producía tres veces más energía que la que consumía toda la ciudad y era más barato que el que había presentado General Electric. Al fin se presentaba la oportunidad de presentar ante el gran público la corriente alterna. Pero aquel año de esperanza también contuvo un capítulo de gran tristeza para Tesla. El inventor estaba en Europa, en una gira de conferencias, para dar a conocer sus descubrimientos y visitar a su familia, cuando recibió un telegrama de su tío Petar anunciando que la salud de su madre se estaba deteriorando rápidamente. Se apresuró a verla y la encontró postrada en la cama. Las únicas palabras que Dluca Mandic consiguió decirle a su hijo fueron: «Al fin has llegado, Niko, orgullo mío». Murió pocas horas más tarde. Al día siguiente fue enterrada junto a su marido en el cementerio de Jasikovac. Nikola Tesla cayó enfermo.

Tardó tres semanas en recuperarse en Gospic y luego en Tomingaj, paseando por las mismas montañas donde había imaginado proyectos imposibles cuando era joven. Pasaría los siguientes meses en su tierra natal dando charlas, asesorando a las





FOTO SUPERIOR:
La Exposición Universal de Chicago de 1893 pretendía empequeñecer a la impresionante Exposición de París de 1889, que había conmemorado el centenario de la Revolución francesa e inaugurado la Torre Eiffel.

FOTO INFERIOR:
En el Pabellón de la Electricidad Tesla tenía un estand propio para sus presentaciones (puede verse en primer término, a la izquierda), donde los visitantes formaban colas por centenares.

autoridades e incluso diseñando una central hidroeléctrica para los lagos de Plitvice. A su llegada en tren a los lugares donde se desplazaba le esperaban enormes multitudes para saludarle. En Belgrado el joven rey serbio Alexander Obrenovic le llamó para conocerle. Cuando regresó a Estados Unidos le aguardaba un reconocimiento inesperado: había sido elegido vicepresidente del AIEE.

El 1 de mayo de 1893, con un año de retraso, abrió sus puertas la Exposición Universal de Chicago. A la inauguración acudieron los reyes de España y Portugal y otros mandatarios extranjeros, ante quienes el presidente de Estados Unidos, Grover Cleveland, hizo girar una llave de paso dorada para encender el sistema eléctrico de Tesla y Westinghouse. Entonces, escalonadamente, se fue activando la maquinaria del recinto y se iluminaron uno tras otro los pabellones gracias a sus 180000 bombillas. La muchedumbre, como es lógico, quedó totalmente estupefacta ante tamaña maravilla.

Durante cuatro meses pasaron por el recinto más de veintisiete millones de visitantes, que tuvieron ocasión de ver en el pabellón de las máquinas los increíbles aparatos accionados por corriente alterna que Westinghouse había construido bajo la supervisión de Tesla. Allí podían contemplarse incluso los generadores que producían los 2000 voltios que alimentaban el recinto. Al caer la noche, la iluminación con proyectores de colores ofrecía un espectáculo poco sorprendente en la actualidad pero absolutamente inaudito en aquella época. Ningún ser humano había presenciado algo así jamás. La prensa bautizó el recinto de la exposición como la Ciudad Blanca y pregonó a los cuatro vientos que aquella creación fantástica respiraba con el aliento del futuro: la corriente alterna.

En el pabellón de la electricidad, Tesla congregaba cada día a miles de personas y presentaba sus prodigios eléctricos vestido con levita y corbata blancos. Con la ayuda de T.C. Martin había descubierto que tenía dotes para la oratoria y desarrolló algunos trucos efectistas para meterse en el bolsillo a la audiencia de aquel país hambriento de espectáculo. Comenzaba exponiendo el campo magnético rotatorio y el motor de inducción con su huevo

de Colón, para seguir hasta sus descubrimientos más recientes. Entre estos últimos destacaba una luz fluorescente, precursora de las actuales, alimentada sin cables por campos de alta frecuencia. Los visitantes no entendían las explicaciones técnicas, pero quedaban admirados y convencidos de que la corriente alterna era segura después de verle envuelto en rayos centelleantes como una antorcha humana.

La Exposición de Chicago no fue solo un espectáculo. Albergó actividades paralelas quizá más relevantes y útiles para Tesla, como el Congreso de la Electricidad, que reunió a científicos e ingenieros de todo el mundo. Antes de que finalizara el evento, Westinghouse consiguió el contrato para construir una planta hidroeléctrica en las cataratas del Niágara, haciendo realidad así el viejo sueño de la infancia de Tesla. La guerra de las corrientes llegaba a su punto final dejando claro que la corriente alterna era la mejor posibilidad y que la electricidad podía materializar su promesa: una revolución energética radical y definitiva.

CAPÍTULO 3

Ondas electromagnéticas: la nueva frontera

La década de 1890 fue la más prolífica de la vida de Nikola Tesla. En esos años investigó en el campo de las ondas electromagnéticas y sus posibles aplicaciones, realizando descubrimientos muy adelantados para su tiempo que, obviamente, no fueron bien comprendidos. Aunque vio reconocido su genio, apuntó en tantas direcciones que dejó inconclusas muchas investigaciones que otros culminaron posteriormente. La experiencia acumulada en esos años le llevó a la gran obsesión de su vida: la transmisión inalámbrica de energía.

En 1889, cuatro años antes de su éxito aplastante en Chicago con la corriente alterna, Nikola Tesla había visitado la Exposición Universal de París con una agenda repleta de entrevistas con científicos e investigadores. El físico e ingeniero alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) acababa de demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas, anunciada por Maxwell, y la comunidad científica no hablaba de otra cosa. Las conversaciones de Tesla en París con colegas de profesión y conocedores del trabajo del físico alemán habían reafirmado todas sus intuiciones y aumentado su impaciencia por profundizar en aquella nueva línea de investigación. De regreso a Estados Unidos, hubiera deseado experimentar sobre el modo de detectar, producir y utilizar aquellas ondas, pero diversas complicaciones retrasaron su investigación.

La vida había cambiado mucho para él desde que T.C. Martin le presentara a Robert Underwood Johnson, director de la revista *The Century Magazine*, quien le introdujo en la alta sociedad de Nueva York. Tesla siempre había añorado la posibilidad de mantener relaciones sofisticadas y de frecuentar ambientes al estilo de los europeos. Y el caso es que la mansión de la familia Johnson, en la selecta avenida Lexington, era lugar de acogida para artistas, intelectuales y políticos norteamericanos de relumbrón y también para los más sobresalientes visitantes del Viejo Mundo. Allí trató al escritor Rudyard Kipling, al compositor Anton Dvorak, al futuro

presidente Theodore Roosevelt o a la filántropa y sufragista Anne Morgan, hija de J.P. Morgan, de quien se dijo durante largo tiempo que estaba enamorada del inventor.

Tesla vivía en hoteles, en los que organizaba fastuosas fiestas para corresponder a las invitaciones de que era objeto, y cada poco tiempo se mudaba a un establecimiento más lujoso. Pero, por encima de todo, había franqueado la puerta del círculo de los archimillonarios ociosos entregados a todo tipo de lujos y extravagancias, al estilo de los banquetes de Delmonico's, uno de los primeros restaurantes «de lujo» del mundo. Tesla había aprendido que su éxito pasaba por movilizar fortunas a su alrededor; estaba obligado a merodear por aquellos territorios a la caza de financiación. Porque, desde noviembre de 1890, estuvo convencido de que sus manos moldeaban una vez más el futuro como arcilla fresca en el torno de un artesano, y el dinero que le había pagado Westinghouse no sería suficiente para financiar su investigación.

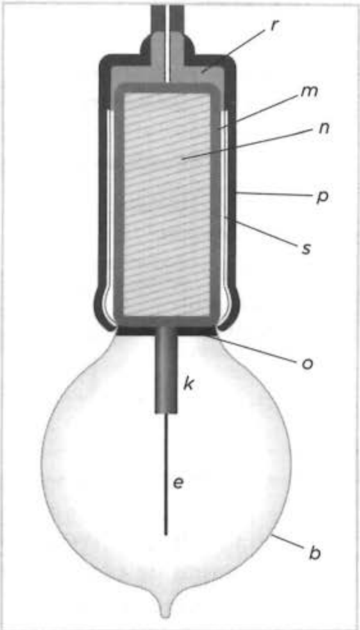
La actividad del inventor en su década de esplendor fue frenética y extraordinariamente diversificada. Además de experimentar en numerosos campos, se dedicó a realizar giras por las principales ciudades de Estados Unidos y las capitales científicas de Europa para presentar su visión del futuro, convencido de que la misión de la ciencia era mejorar el mundo y de que el conocimiento debía ser de dominio público. También se enfrascó en los laboriosos preparativos para la Exposición Universal de Chicago, que interrumpieron sus avances. Pero el mayor problema fue la dispersión de sus investigaciones, ya que exploraba varios campos a la vez, saltando de teoría en teoría y de aplicación en aplicación, a pesar del consejo de muchos colegas, que le recomendaban que se concentrara en un solo terreno.

EL DESCUBRIMIENTO DE LA ENERGÍA INALÁMBRICA

Hacia 1890 Tesla estaba trabajando en un diseño perfeccionado de lámpara que pretendía ser más eficiente que la bombilla incandescente de Edison. Para ello se basó en el tubo de Geissler, un in-

LA LÁMPARA DE TESLA

En el primer modelo de su lámpara incandescente (cuyo primer diseño logró patentar en junio de 1891) Tesla utilizó un globo de cristal (*b*), relleno de un gas rarificado, que contenía un filamento rígido de carbono (*e*) conectado con un conductor revestido con aislante (*k*). El cuello cilíndrico de la lámpara estaba formado por dos secciones: la primera de ellas era de material conductor (*m*) y la segunda de material aislante (*n*), en contacto eléctrico con una placa metálica (*o*). Este cuello cilíndrico estaba encajado en un casquillo compuesto por un cilindro aislante (*p*), dotado de un revestimiento metálico (*s*), y conectado eléctricamente mediante un cabezal (*r*) a la fuente de energía. El revestimiento del casquillo (*s*) y el cilindro conductor del cuello (*m*) componían la armadura de un condensador.



vento del físico alemán Heinrich Geissler (1814-1879) consistente en un tubo de cristal capaz de emitir luz de distintos colores si se aplicaba en su interior, en un ambiente de gases, una descarga eléctrica en condiciones de baja presión.

La nueva lámpara de Tesla consistía en un conductor montado en un receptáculo relleno con un gas inerte, como el neón. Conectada directamente o por inducción a las terminales de un generador de corriente de alta frecuencia, generaba una luz de una naturaleza completamente nueva y distinta: despedía un brillo mucho más intenso que la bombilla convencional sin calentarse, algo de extrema importancia, pues las bombillas perdían el 95% de la energía en forma de calor al encenderse. El primer

FIG. 1

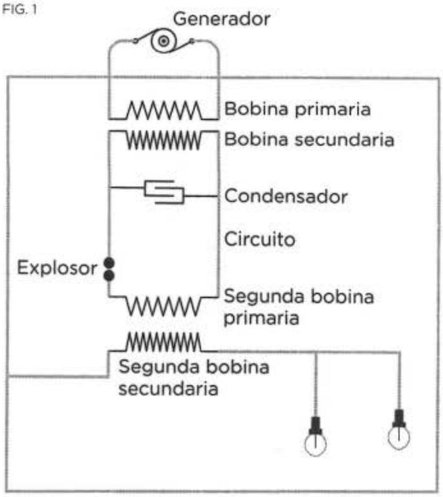


Diagrama del circuito de alta frecuencia.

modelo empleaba un filamento de carbono, que luego Tesla sustituyó por un disco del mismo material y finalmente, por nada. Los últimos prototipos generaban luz a partir de la fosforescencia del gas rarificado (menos denso), produciendo una luz muy clara sin filamento ni combustión. Eran, en efecto, antecesores de las actuales lámparas fluorescentes.

Para dotar de una aplicación práctica a sus lámparas, Tesla diseñó también un circuito que consiguiera la alta frecuencia y el alto potencial necesarios, y que podía fabricarse perfectamente a partir de los dispositivos eléctricos ya existentes (figura 1). La fuente principal de corriente eléctrica era un generador de corriente alterna convencional. El potencial de la corriente lo elevaban dos bobinas de inducción: primaria y secundaria, que cargaban un condensador. Este descargaba en un circuito, que contenía un explosor, esto es una interrupción del circuito, con electrodos enfrentados, donde se producía una descarga disruptiva. Así se producía una corriente de alta frecuencia. Para elevar su potencial, el circuito empleaba otras dos bobinas de inducción, primaria y secundaria. La corriente en la segunda bobina primaria generaba en la segunda bobina secundaria una corriente de frecuencia igual pero de enorme diferencia de potencial. Las lámparas se conectaban a los terminales de esta última bobina.

En el diseño de este circuito se encontraba el principio básico de sus osciladores eléctricos (figura 2), dispositivos transformadores y amplificadores de la corriente, como la futura bobina que llevaría su apellido. En noviembre de 1890, al poner en marcha uno de sus prototipos de oscilador eléctrico, Tesla advirtió que sus lámparas brillaban sin estar conectadas a la corriente: el gas reaccionaba emitiendo luz. Analizando lo sucedido, entendió que

FIG. 2

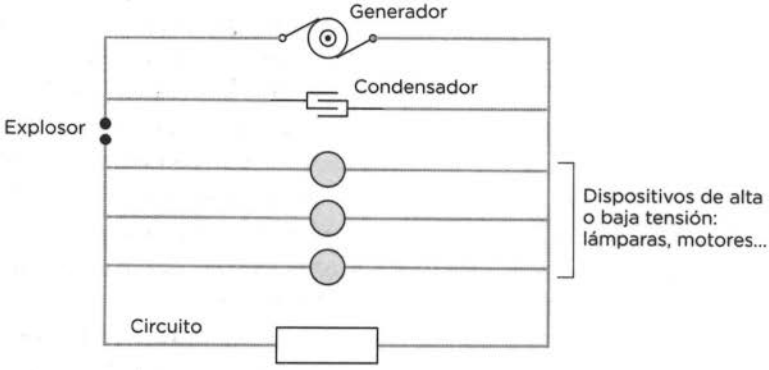


Diagrama del oscilador eléctrico de Tesla.

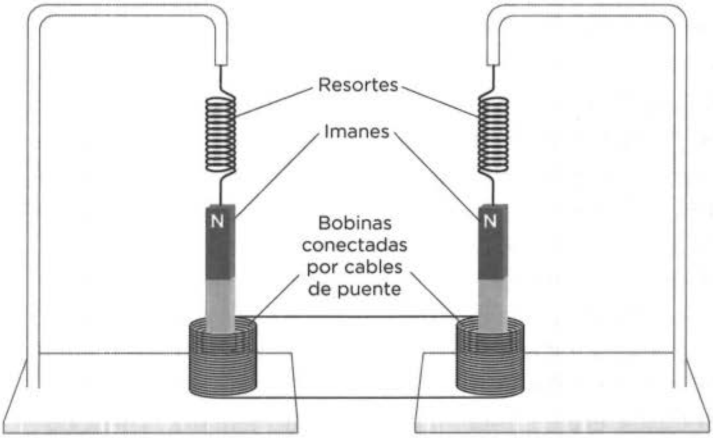
las ondas electromagnéticas transmitían la energía eléctrica a través del aire, sin contacto físico para la introducción de carga, y que lo hacían en cantidad suficiente como para llegar a encender una lámpara. La clave del fenómeno era lo que hoy se conoce como resonancia eléctrica. Determinando la frecuencia de la corriente eléctrica apropiada para el circuito, Tesla fue capaz de encender y apagar lámparas situadas a varios metros de distancia.

Las consecuencias que podía tener aquel hallazgo en manos del hombre que acababa de hacer viable el uso doméstico de la energía eléctrica eran inimaginables. De inmediato, Tesla comenzó a especular sobre la posibilidad de transmitir electricidad de manera inalámbrica con la misma seguridad y eficiencia que a través de cables. Si tal cosa era posible, él mismo podría perfeccionar el esquema de producción y transmisión de energía que acababa de desarrollar, en el mismo momento de haberlo presentado en sociedad. Aquel mes de noviembre entró de lleno en un campo que le fascinaría para siempre: la transmisión inalámbrica de energía eléctrica.

En su laboratorio de la Quinta Avenida, Tesla comenzó a hacer experimentos con lámparas y tubos de vacío que fabricaba un soplador de vidrio contratado a jornada completa. Tenía la esperanza de captar con ellos las llamadas, según la jerga del

LA RESONANCIA ELÉCTRICA

El fenómeno de la resonancia eléctrica puede ejemplificarse con el pequeño experimento de laboratorio que muestra la figura, donde se observa cómo el movimiento de un resorte produce resonancia en el otro. El primer imán que se mueve en el interior de una bobina induce una corriente eléctrica. Esta se transmite a la segunda bobina, donde su flujo ejerce una fuerza que mueve el segundo imán. Como los dos resortes son idénticos, reproducen aproximadamente las mismas constantes de movimiento, y por tanto, la frecuencia de la señal eléctrica que mueve el segundo resorte es resonante. Una pequeña fuerza de frecuencia resonante tiene un impacto mucho mayor que una fuerza en otra frecuencia.



momento, ondas hercianas, es decir ondas electromagnéticas. Comenzó estudiando proyectos de iluminación, pero con el tiempo fue evolucionando en sus experimentos para captar señales de radio y, sin acabar de conocer exactamente su naturaleza, microondas y rayos X.

El 20 de mayo de 1891 Tesla presentó sus primeras conclusiones sobre energía inalámbrica en una segunda conferencia ante el AIEE, titulada «Experimentos con corrientes alternas de alta frecuencia y su aplicación como formas de iluminación

artificial». Tenía entonces treinta y cinco años. Ante la atónita mirada de los asistentes, encendió sus lámparas sin cables, hechas con tubos de diferentes y complicados diseños, y las movió por toda la habitación. Nunca patentó ni comercializó estos primitivos fluorescentes, que aún tardarían cincuenta años en aparecer en el mercado como producto comercial. La presentación finalizó con un gran golpe de efecto, cuando hizo que su generador de 20 000 Hz despidiera un potente rayo que él recibió a través de su cuerpo, protegido por una toma de tierra. El inventor estimó que la descarga había sido de 250 000 voltios; en la silla eléctrica, William Kemmler había recibido descargas de 2 000 voltios. «Existe una manera de obtener energía no solo en forma de luz, sino de potencia motora y de energía de cualquier otra clase directamente del medio que nos rodea», afirmó Tesla. Cuando se desarrollara y se pudiera aprovechar esa energía de manera directa, sin esfuerzo, a partir de una fuente inagotable, la humanidad daría «el salto definitivo hacia delante».

La conferencia tuvo muy buena prensa. Aquella imagen de un futuro de progreso basado en una energía limpia, barata, natural y sin límites disparó la imaginación de periodistas y comentaristas. Desde el primer momento, Tesla se había preocupado por la probable escasez futura de los recursos energéticos y había advertido de la necesidad de explorar las fuentes de energía que hoy se conocen como renovables, como la solar, la eólica y la geotérmica, ideas que tardarían casi un siglo en ser aceptadas. En ese sentido, se podría considerar a Tesla como un pionero en el desarrollo de lo que hoy se conoce como conciencia ecológica.

Durante aquellos años, Tesla fue reuniendo los elementos que acabarían por poner a su alcance su objetivo último. Sin ser demasiado consciente de ello, en aquella década de 1890 estuvo jugando al gato y al ratón con la historia de la ciencia, unas veces para adelantarse a los grandes descubrimientos de aquel período y otras para llegar solo un instante más tarde. Para comprender bien hasta qué punto transitaba por el camino correcto de manera independiente es preciso conocer algo más sobre uno de los últimos grandes hallazgos científicos del siglo XIX: las ondas electromagnéticas.

LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

La noción de onda es tal vez una de las aportaciones más interesantes de la física del siglo XIX. Una onda es la propagación de la perturbación de una propiedad (la densidad, la presión o los campos eléctrico y magnético) de un medio (agua, aire, un metal o, incluso, el vacío), involucrando el transporte de energía, pero sin que se transporte la materia (figura 3). La materia no se desplaza, sino que vibra transmitiendo la perturbación a la materia contigua, de modo que los efectos de la propagación de la onda sí pueden recorrer distancias. Un ejemplo de fácil comprensión es un seísmo. Este consiste en ondas que se transmiten a una velocidad de entre 20 000 y 30 000 km/h. Cuando se recibe en unos pocos minutos la vibración de un seísmo que ha tenido lugar a 5 000 km es obvio que la materia no ha franqueado esa distancia, es decir que la vibración no ha traído consigo ningún tipo de materia desde el epicentro del terremoto.

El movimiento oscilatorio de una partícula cargada eléctricamente, o magnéticamente, crea una perturbación a su alrededor, esto es, una onda. Esta onda depende de la velocidad y la fuerza con que se mueve la partícula, porque estas determinan la amplitud o distancia entre el inicio y el final del recorrido de la onda.

En 1873 James Clerk Maxwell publicó su *Tratado de electricidad y magnetismo* en torno a la teoría de los campos de fuerza de Faraday, en el que mostraba las indisolubles relaciones entre ambos terrenos. De hecho, existía un solo campo de fuerzas que unificaba los fenómenos de la electricidad y el magnetismo: el campo electromagnético. Esto tenía implicaciones de suma importancia: al variar la intensidad de una corriente eléctrica se causaba una perturbación electromagnética que se propagaba en forma de ondas. Un campo eléctrico cambiante tenía que transmitir su perturbación a un campo magnético, que, a su vez, inducía un campo eléctrico cambiante, y a partir de ahí, iteración y reiteración; la perturbación debía propagarse en todas direcciones, creando campos homólogos. Las ondas eléctricas y magnéticas avanzarían juntas al paso, trans-

FIG. 3

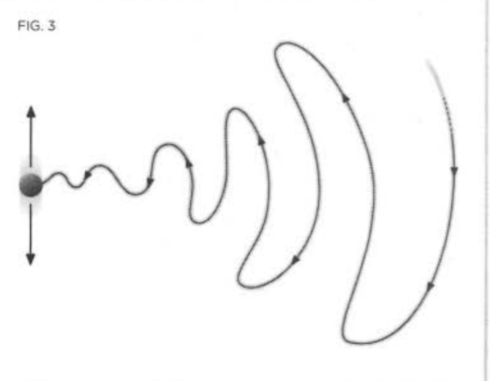
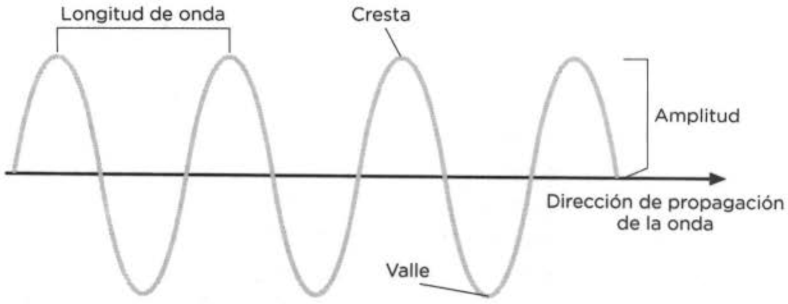


FIG. 4



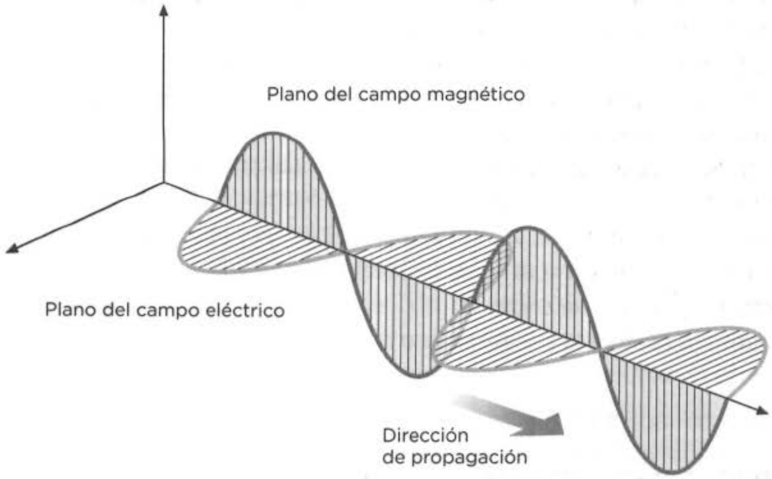
portando la energía suministrada en la fuente de radiación. Al surgir un nuevo campo, se podría amplificar, disminuir o modificar de varios modos, en función de si los picos y valles de la ondulación estuvieran sincronizados o interfirieran con los demás. Debía existir un amplio abanico de oscilaciones electromagnéticas según su longitud de onda, esto es, la distancia que hay entre los picos de la onda, llamados con más precisión «crestas» (figura 4).

La longitud de onda es la distancia entre dos crestas. La amplitud es la máxima perturbación de la onda. La frecuencia es el número de veces que se repite la onda por unidad de tiempo, es decir, el número de vibraciones por segundo.

Maxwell fue capaz de calcular la velocidad con que se propagan las ondas electromagnéticas en el vacío, y quedó asombrado al hallar un valor igual al de la velocidad de la luz, los 315 300 km/s (actualmente, el valor aceptado es de 299 792 km/s) establecidos en 1849 por el físico y astrónomo francés Hippolyte Fizeau (1819-1896). No podía tratarse de una coincidencia; aquello significaba que la luz era una onda electromagnética, lo que unificaba también la disciplina de la óptica con el electromagnetismo, algo que en aquella época resultaba muy difícil de comprender.

Aquellas ondas invisibles parecían desafiar a la intuición; resultaba inconcebible que una onda se propagase en el vacío sin ningún medio material que hiciera de soporte. Se argumentaba erróneamente, por ejemplo, que las olas eran un desplazamiento del fluido. Hoy en día se sabe que las ondas mecánicas como el sonido o las ondas sísmicas necesitan un medio elástico para propagarse, sea sólido, líquido o gaseoso, pero que las ondas electromagnéticas se propagan sin necesidad de un medio, es decir, que pueden propa-

FIG. 5



Las ondas eléctricas y magnéticas equivalentes que constituyen una onda electromagnética forman entre sí ángulos rectos; si las ondas eléctricas son verticales, entonces las magnéticas serán horizontales. Ambas avanzan juntas, transportando la energía suministrada desde una fuente de radiación.

garse en el vacío. Sin embargo, la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas efectivamente depende del medio por el que se propagan; en el vacío, es igual a la velocidad de la luz.

El padre del electromagnetismo murió prematuramente en 1879, a los cuarenta y ocho años, sin ver la confirmación de sus teorías, pero esta no tardó mucho en llegar, pues se produjo en 1885. Cuando Hertz investigaba longitudes de onda más largas que las de la luz y el calor, logró obtener en su laboratorio ondas electromagnéticas con todas las propiedades previstas por Maxwell. Hertz demostró que podían desplazarse a la velocidad de la luz incluso en el vacío; la luz era, en efecto, una onda electromagnética. Para sus experimentos usó un oscilador, un instrumento que introducía variaciones periódicas en una corriente eléctrica, y un resonador, que captaba la oscilación y se acoplaba, es decir que oscilaba siguiendo su ciclo. Comprobó que la energía se transmitía de un instrumento a otro a través del espacio, e incluso fue capaz de definir la forma de la onda colocando el resonador en diversos puntos del laboratorio. Para ello empleó corriente alterna de alto voltaje.

En la siguiente década muchos investigadores pensaron que sería factible emplear esas ondas hercianas, que podían transportar energía, para transmitir mensajes de un lugar a otro. Su capacidad de transmisión les permitía recorrer largas distancias y superar muchos obstáculos. Podían cambiar su dirección de propagación, como la luz en el agua, o ser rebotadas o también reflejadas, como la luz en un espejo. En términos más rigurosos estas tres propiedades se denominan reflexión, refracción y difracción de las ondas. Pero muchos intuían ya sus inmensas posibilidades de aplicación en muchos campos. La tarea de completar el espectro electromagnético en todas sus longitudes de onda y determinar sus aplicaciones ocupó el cambio del siglo XIX al siglo XX.

EL ESPECTRO ELECTROMÁGNETICO

Las ondas electromagnéticas se distinguen unas de otras por su energía específica, la cual viene dada por su longitud de onda y su frecuencia. Además, pueden tener niveles variables de intensidad de radiación. El espectro electromagnético es el conjunto de todas las ondas electromagnéticas en base a una distribución energética.

Las ondas de radio ocupan la porción menos energética del espectro electromagnético. Su longitud de onda es tan larga que pueden viajar sin ser absorbidas ni dispersadas por las moléculas de aire; incluso las de mayor longitud de onda pueden dar la vuelta completa a la circunferencia terrestre. Por eso son excelentes para retransmitir señales sonoras y visuales de forma masiva, mediante los pares emisor-receptor adecuados.

Las ondas electromagnéticas por debajo de los 30 cm de longitud de onda ocupan el siguiente fragmento del espectro, que se denomina espectro de las microondas. A pesar del término, las microondas no son tan pequeñas como parece sugerir el prefijo micro (equivalente a una millonésima parte de la unidad, esto es, 10^{-6}); sus longitudes de onda van desde 1 mm hasta 1 m. Son lo suficientemente largas como para transportar señales por el aire,

FIG. 6

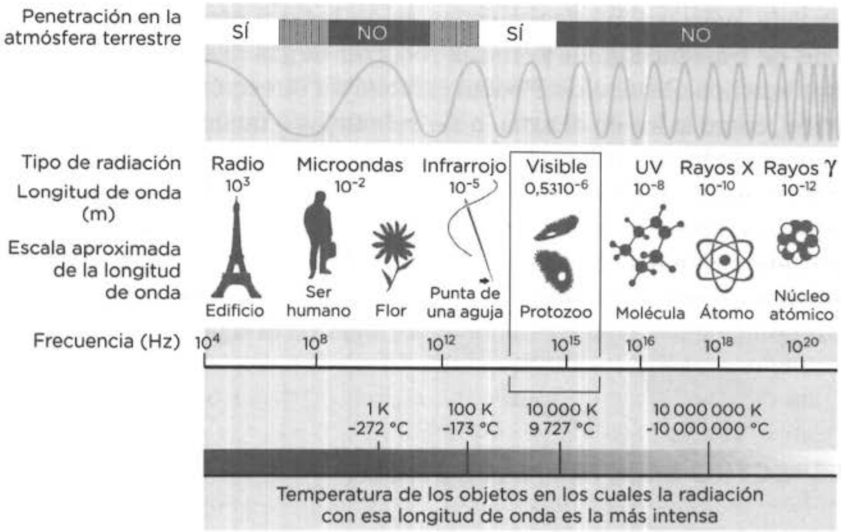


Diagrama del espectro electromagnético.

del mismo modo que las ondas de radio, pero, a diferencia de estas, es posible concentrarlas en un haz dirigido para transmitir señales con seguridad y privacidad. Como ejemplo, el radar usa la radiación de microondas: un pulso de microondas se refleja en los objetos sólidos y devuelve al receptor un eco de la señal original, retorno de la onda incidente retardada. Para localizar un objeto con la máxima precisión hay que conocer la velocidad de propagación de la onda en el aire y el tiempo que tarda el pulso de la microonda en recorrer la distancia entre el aparato emisor de la onda, en ser reflejado por el objeto cuya posición se desea determinar, y en regresar al aparato receptor.

En la zona intermedia del espectro está la radiación electromagnética más conocida: la luz, o espectro visible, con longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros. El nanómetro (nm) equivale a una milmillonésima parte de un metro, esto es, 10^{-9} metros. La denominación «luz visible» puede llevar a equívoco, porque si es visible para el hombre es porque su visión ha evolucionado para

captarla. De hecho, varios animales pueden ver fuera de esa zona. Las serpientes, por ejemplo, pueden detectar la luz menos energética, la infrarroja, cuya longitud de onda va desde los 0,7 a los 1 000 micrómetros. En cambio, las abejas ven perfectamente con radiación de mayor energía, en la zona ultravioleta, cuyo rango comienza más allá de la longitud de onda que el ojo humano identifica como el color violeta, los 400 nm, y llega hasta los 15 nm.

Más allá del territorio de las ondas directamente observables por el hombre y algunos animales, se extiende un territorio de radiaciones de longitudes de onda extremadamente cortas y cargadas de grandes cantidades de energía. En primer lugar se encuentran los llamados rayos X, con una longitud de onda aproximada de una diezmillonésima de milímetro, un angstrom (Å), más o menos el tamaño de un átomo. Los rayos X pueden atravesar la mayor parte del cuerpo humano, músculos, órganos, etcétera, sin interactuar ni atenuarse significativamente, pero son absorbidos por tejidos de alta densidad, como los huesos.

A continuación están los rayos gamma, con una longitud de onda más pequeña que un protón. Es la radiación electromagnética de menor longitud de onda que los instrumentos humanos son capaces de medir. Su contenido energético es muy potente, de tal modo que debe tenerse en cuenta su presencia en el entorno de la actividad humana, pues pueden penetrar muy profundamente en la materia y dañar el núcleo de las células. Los rayos gamma que se producen en el espacio no llegan a la superficie terrestre, pero si una estrella situada a menos de 25 000 años luz de la Tierra estallara en forma de supernova, la ráfaga de rayos gamma liberados dejaría fuera de servicio todos los sistemas de telecomunicaciones del planeta (figura 6).

Los rayos cósmicos ocupan el extremo del espectro, con la longitud de onda más corta y la frecuencia más alta. Son partículas subatómicas de muy alta energía procedentes del espacio exterior, cuyo origen exacto todavía es motivo de debate, aunque se ha observado que las erupciones solares emiten rayos cósmicos de baja energía. En su mayor parte son desviados por el campo magnético terrestre y no llegan a la superficie de la Tierra, pero eso no significa que no tengan ningún efecto. Por reacción nuclear

con el nitrógeno de la alta atmósfera, producen carbono 14, el isótopo radiactivo del carbono que se emplea para datar especímenes orgánicos. Al ser desviadas por el campo magnético terrestre, se concentran en los polos, donde provocan la ionización de la atmósfera, dando lugar al incomparable espectáculo de las auroras boreales.

LA BOBINA TESLA

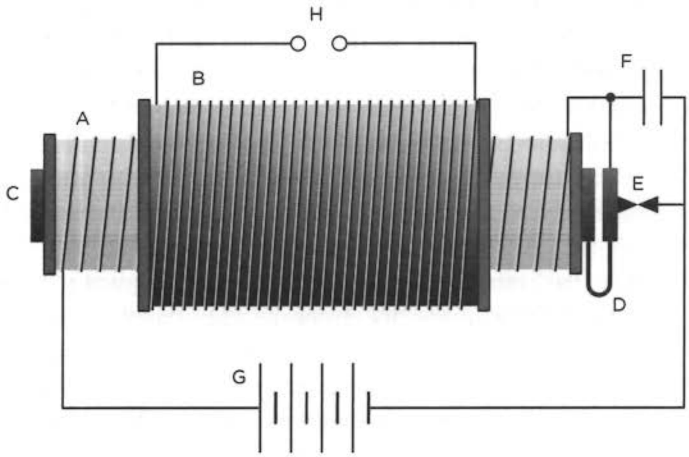
Tesla estaba convencido de las posibilidades de las ondas «hercianas». Ya en los años en que había dado forma al concepto del campo magnético rotatorio, antes de la demostración de Hertz, describía el universo como «una sinfonía de corrientes alternas» que recorrían un vasto espectro: su corriente alterna de 60 Hz era el extremo más bajo de una línea que ascendía hasta frecuencias de miles de millones de hercios, donde estaba la luz visible. Tesla estaba seguro de que era totalmente necesario adentrarse en el inmenso territorio de las oscilaciones eléctricas si se quería comprender la sinfonía del cosmos y después conquistarla.

Gracias a su triunfo con la corriente alterna, durante su década de esplendor Tesla gozó de una considerable capacidad financiera que le permitió entregarse en cuerpo y alma a sus investigaciones, para las cuales tenía que desarrollar él mismo sus instrumentos de trabajo y prototipos. Con la intención de alcanzar picos de potencia muy altos, del orden de los megavatios que necesitaba para sus experimentos, desarrolló la famosa bobina que llevaría su nombre: un transformador resonante de alta frecuencia que se volvió rápidamente imprescindible en todos los laboratorios de investigación científica, puesto que permitía amplificar las débiles ondas del circuito rudimentario de Hertz y soportaba corrientes de casi cualquier magnitud.

Tesla desarrolló diferentes modelos, experimentando con una gran variedad de configuraciones. Generalmente, las bobinas Tesla generan tensiones de radiofrecuencia muy elevadas que dan lugar a espectaculares descargas eléctricas en el aire que pueden

LA BOBINA DE RUHMKORFF

La bobina de Ruhmkorff consta de dos arrollamientos (bobinas) sobre un núcleo de hierro dulce (C): el primario (A) tiene pocas decenas de espiras y está hecho con hilo de cobre aislado grueso, y el secundario (B) tiene un número muy elevado de espiras —cientos e incluso miles— y está hecho con hilo muy fino y recubierto de un buen aislante. Para funcionar con corriente continua, la bobina está constituida como un electroimán, que opera un contacto eléctrico (E) normalmente cerrado mediante un resorte metálico (D) que está enfrentado a un extremo del núcleo de hierro dulce. Eléctricamente E se dispone en serie con A. Cuando se aplica corriente continua al circuito de A, el núcleo se magnetiza, y con ello atrae el resorte D. Al abrirse el contacto eléctrico E, deja de circular corriente por A, y todo el proceso deja de actuar. Entonces vuelve a circular corriente por A, procedente del generador de corriente continua (G), y así indefinidamente. La corriente se hace pulsante, actuando como una corriente alterna, e induciendo una corriente pulsante en B. Esta corriente puede ser de varios cientos o unos pocos miles de voltios, valor de tensión que depende de la relación de espiras de ambas bobinas y se traduce en la tensión entre los dos terminales del explosor (H). La bobina primaria y el contacto en serie forman, pues, un oscilador que genera impulsos de corriente continua a una frecuencia que depende de las características mecánicas del contacto eléctrico (del resorte, su elasticidad, etc.), aunque siempre será de unas decenas de impulsos por segundo. Debido a las tensiones autoinducidas en A cada vez que se abre E, se forman chispas que causan desgaste con el tiempo, por lo que se suele añadir en paralelo con el contacto un condensador (F) cuya función es absorber estas tensiones.



alcanzar varios metros. Según los estándares actuales, producen corrientes muy bajas, pero muy superiores a las que podían obtener las fuentes de alta tensión de la época de Tesla, que eran máquinas electrostáticas.

Los primeros diseños usaban la acción disruptiva de un explosor (*spark-gap*, en inglés), que consiste en dos electrodos enfrentados, normalmente esféricos, entre los cuales se origina una descarga eléctrica al aplicarles una diferencia de tensión que sobrepasa un valor determinado, el valor de la «tensión de ruptura» del aire correspondiente a la separación entre los electrodos.

La chispa salta en el explosor con una tensión muy elevada, de varios miles de voltios (aunque depende de la separación), por lo que el circuito requiere ser alimentado por una fuente de alta tensión. En la época en que Tesla desarrolló sus primeras bobinas, la única fuente de alta tensión disponible era la bobina de inducción de Ruhmkorff, también conocida como carrete de Ruhmkorff, un antecesor de los actuales transformadores que generaba alta tensión y corriente alterna a partir de una corriente primaria continua y de poca fuerza electromotriz, como la generada por pilas o acumuladores. Fue ideada en 1851 por un ingeniero francés de origen alemán, Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877), en una época en que la corriente alterna prácticamente no se empleaba.

La primera parte de la bobina Tesla estaba compuesta por los elementos habituales de la bobina de Ruhmkorff (figura 7). La alimentación la proporcionaba una fuente principal de corriente continua (G), y su bobina secundaria (S) se conectaba a dos condensadores de alta tensión (C C). Unos terminales de descarga (A B) se colocaban en paralelo a esta bobina, antes de los condensadores, cuyas puntas de descarga eran bolas metálicas con diámetros inferiores a los 3 cm, aunque Tesla utilizó diferentes elementos para esta función. Los condensadores consistían en placas móviles introducidas en aceite. Cuanto menores eran las placas, mayor era la frecuencia generada por estas primeras bobinas (ya que la capacidad del condensador era menor). Las placas resultaban también útiles para compensar la elevada autoinductancia de la bobina secundaria, añadiéndole capacidad. También se colocaban placas de mica (M M) en los terminales de descarga

FIG. 7

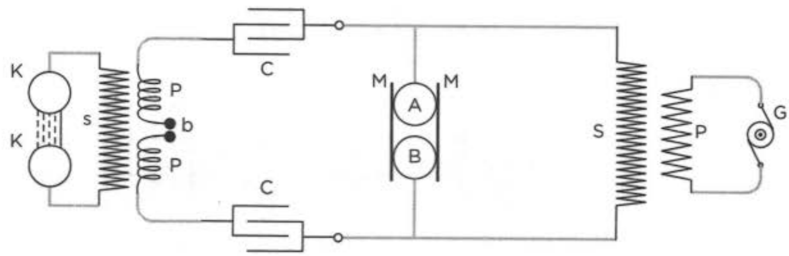


Diagrama de la bobina Tesla.

para producir a través de ellos una corriente de aire que ayudaba a extinguir el arco eléctrico cuando disminuía la tensión entre los electrodos, haciendo la descarga más abrupta.

A partir de este punto comenzaba lo que podía considerarse propiamente la bobina Tesla. Los condensadores de la bobina de Ruhmkorff estaban conectados con un circuito de dos bobinas (p p) separadas por un explosor (b) y una división de caucho duro. Este circuito era el primer elemento de una segunda bobina disruptiva. Cada bobina de este circuito primario estaba hecha con veinte vueltas de alambre cubierto por aislante enrollado en tubos de caucho de unos 3 mm de grosor. Frente a las bobinas del circuito primario estaba la bobina secundaria (s), mucho más larga que las otras. Estaba compuesta por 300 vueltas de hilo metálico recubierto de seda, enrollado en un tubo de caucho con sus extremos encajados en tubos de cristal. A ellas se conectaban los electrodos (K K), que en modelos posteriores se sustituyeron por el anillo toroide que habitualmente se identifica con la bobina Tesla (figura 8, en la página siguiente).

Los dispositivos posteriores prescindieron de la bobina de Ruhmkorff y fueron alimentados desde transformadores de alta tensión, usando bancos de condensadores de cristal de botella sumergidos en aceite para reducir las pérdidas por descargas. A diferencia de los transformadores convencionales, cuya ganancia en tensión está limitada a la razón entre los números de vueltas en las bobinas primaria y secundaria, la ganancia en tensión de

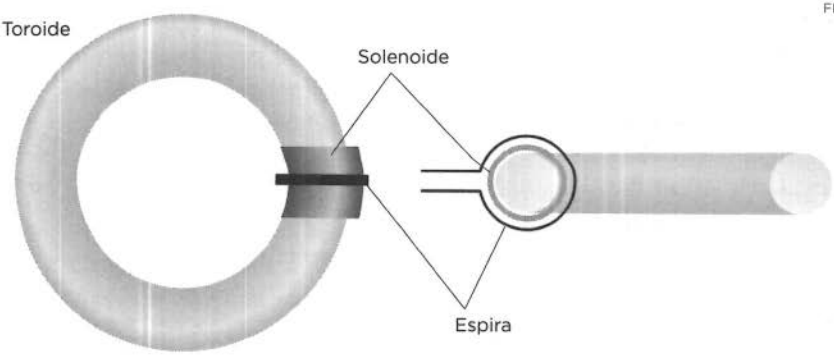


FIG. 8

una bobina Tesla es proporcional a la raíz cuadrada de la razón de las inductancias secundaria y primaria, a causa de la resonancia eléctrica.

La idea de sumergir el equipo de alto voltaje en aceite para aislarlo se extendió rápidamente hasta convertirse en el sistema universal de aislamiento para todos los aparatos de alta tensión. Para reducir la resistencia de las bobinas, cuyo valor aumenta con la frecuencia hasta el punto de transformarse en un serio factor limitante a altas frecuencias, Tesla recurrió a conductores trenzados, con dos cables separados y aislados. Como nunca encontraba el momento de patentar sus aparatos o sus métodos, este hallazgo también se difundió sin producirle ningún beneficio, porque años después otros lo comercializaron. Este hilo conductor entretejido se conoce hoy como hilo de Litz.

TESLA Y LA RADIO

Tesla desarrolló numerosas bobinas, algunas de gran tamaño para manejar potencias elevadas, presentando nuevas y útiles combinaciones para provocar corrientes u oscilaciones que se propagaran por conducción a través del medio natural de un punto a otro

punto remoto, y bobinas receptoras de las señales transmitidas. El empleo de bobinas como unidades transmisoras y receptoras sería el antecedente de las transmisiones de radio. En algún momento de los primeros años de la década de 1890 consiguió producir y detectar ondas de radio, un logro que típicamente se asocia a Guglielmo Marconi (1874-1937).

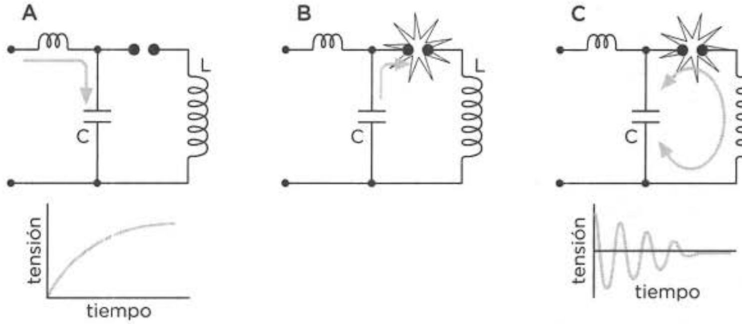
La adaptación que Tesla realizó con sus bobinas para la transmisión de señales a distancia daría lugar a los primeros transmisores de radio inalámbricos, los transmisores de chispa. Las chispas que producían los electrodos de las bobinas Tesla generaban un breve impulso de radiofrecuencia (RF) a causa de la descarga auto-oscilante que provocaban en la carga acumulada en el condensador. Mientras que en las bobinas Tesla la bobina secundaria se empleaba para generar elevadas tensiones en el terminal conectado en su extremo superior, en los transmisores inalámbricos de chispa la bobina secundaria se conectaba a un largo hilo tendido en el aire, la antena del transmisor. Las características eléctricas (inductancia y capacidad) de la bobina secundaria y de la antena determinaban la frecuencia de emisión del transmisor de chispa.

En cuanto a la recepción de las señales, Tesla usaba una bobina similar a la del transmisor, aprovechando su reciprocidad electromagnética. El campo eléctrico generado por la bobina transmisora podía inducir corrientes en la bobina receptora distante. Una vez captadas con la bobina secundaria del receptor, esta actuaba como transformador reductor de tensión, para obtener en la salida de la bobina primaria una tensión mucho menor pero de mayor intensidad de corriente.

Como resultado de sus experimentos, en la primavera de 1893 Tesla expuso con todo detalle los principios de la radiodifusión en el Instituto Franklin de Filadelfia. Poco después, en la ciudad de San Luis, ante los miembros de la National Electric Light Association, hizo la primera demostración experimental de un sistema de comunicación por radio con todos los elementos que emplearían los desarrollos posteriores de otros inventores. Todo esto sucedía tres años antes de los primeros experimentos de Marconi. Fue Tesla quien describió por primera vez los componentes funda-

LA GENERACIÓN DE IMPULSOS DE RADIOFRECUENCIA

En el gráfico A se inicia la carga del condensador C con la corriente de alta tensión suministrada al circuito. Cuando se alcanza la tensión de ruptura del aire en el explosor, salta la chispa disruptiva y se produce la descarga del condensador C a través del explosor (gráfico B). La corriente de descarga circula por la bobina L, y vuelve a cargar el condensador C, aunque con polaridad invertida (gráfico C), repitiéndose de nuevo otro ciclo de descarga aunque con una potencia instantánea menor, y así sucesivamente hasta que se extingue el impulso de radiofrecuencia al cabo de varios ciclos de amplitud cada vez menor.



mentales en un sistema de radio: una antena, una toma de tierra, un circuito tierra-aire para la sintonización, un equipo de recepción y otro de transmisión sintonizados en la misma frecuencia, es decir, en resonancia, y tubos detectores de ondas.

No obstante, el inventor no andaba bien encaminado en todas sus ideas sobre la radio. Para experimentar con ella, empleaba los mismos principios y el mismo equipo que usaba para transmitir energía eléctrica inalámbrica. Creía que la radio era conducción, no radiación, y que la transmisión y la recepción se conseguirían a través de la resonancia eléctrica y las descargas capacitivas. A menudo su trabajo era prisionero de sus concepciones más generales y de un gusto por la sencillez en los principios que contrastaba con la inmensa ambición de sus proyectos.

De hecho, no es posible atribuir la paternidad de la radio a un solo inventor. Diferentes investigadores trabajaron en ella simultáneamente, haciendo demostraciones y solicitando patentes. En 1894, después de las presentaciones de Tesla, pero aún antes que Marconi, el físico inglés Oliver Lodge (1851-1940) se convirtió en la primera persona en transmitir señales telegráficas a través de ondas hercianas, sin necesidad de cables, a una distancia de unos 150 metros. Mediante la colocación de unos bornes en el interior de un cilindro de cobre abierto en uno de sus extremos, capaz de emitir un haz oscilante de ondas ultracortas, Lodge consiguió fabricar un transmisor y un receptor con los que transmitió señales en código morse entre dos edificios de Oxford.

Dos años más tarde, en 1896, el joven Guglielmo Marconi presentó en Londres un transmisor sin cables igual al de Lodge. El aparato constaba de una toma de tierra y una antena, con los que había llevado a cabo experimentos rudimentarios en Bolonia. Pronto se vio que era el mismo equipo que Tesla había presentado en 1893, cuyos detalles se habían publicado en varios idiomas.

Más adelante, en medio del consiguiente conflicto sobre la paternidad del invento, Marconi negó que hubiera leído nada sobre el sistema propuesto por Tesla. Sin embargo, parece difícil que efectivamente no lo conociera, puesto que, en la conferencia que dio el inventor en la Royal Society de Londres en 1892, ante una audiencia de sires y lores, se hallaba presente un ingeniero eléctrico, William Henry Preece, que justamente en aquel momento estaba trabajando en un sistema de telegrafía sin hilos para el servicio postal británico y poco después fue colaborador y gran aliado de Marconi. En su convicción de que el conocimiento debía beneficiar a la humanidad, Tesla había presentado en aquella conferencia sus últimos experimentos, que incluían sus descubrimientos sobre la radio. Había escamoteado hábilmente algunas informaciones, pero un ingeniero experimentado en aquel campo de estudio podría completar perfectamente los espacios vacíos.

Cuando Marconi transmitió en 1901 la primera señal radiofónica transatlántica, la letra «S» en código morse que viajó de Terranova (Canadá) a Cornualles (Reino Unido), empleó hasta catorce patentes registradas por Tesla que resultaban piezas cru-

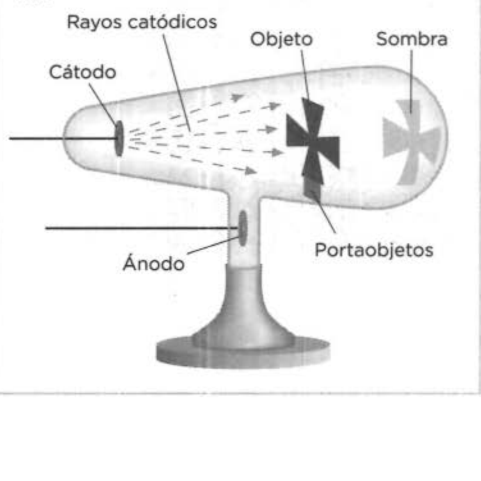
ciales para su sistema transmisor de radio. La cuestión sobre la paternidad de la radio daría lugar años más tarde a una intensa y larga polémica, de la que se hablará más adelante.

TESLA Y LOS RAYOS X

En la década de 1860 un grupo de físicos de la Universidad de Bonn se dedicó a investigar la naturaleza de la incandescencia de los tubos de vacío de Geissler y descubrió que, cuando una corriente eléctrica fluía entre los electrodos, se producían unos rayos desde el cátodo (electrodo negativo) al ánodo (electrodo positivo) de trayectoria rectilínea. Aquellos haces lumínicos que viajaban perpendiculares al cátodo recibieron el nombre de rayos catódicos y se demostró que podían proyectar objetos como sombras. Entre 1869 y 1875 el británico William Crookes (1832-1919) perfeccionó el tubo de vacío, creando en su interior un vacío aún mayor, e investigó más a fondo la naturaleza de los rayos catódicos. Uno de sus experimentos consistió en colocar una cruz de Malta dentro del tubo y obtener una sombra nítidamente perfilada (una proyección) de la cruz en la fluorescencia producida al chocar los rayos contra la pared del tubo de cristal, situada detrás de la cruz (figura 9). Aplicado a placas fotográficas, el tubo de Crookes generaba imágenes borrosas, un efecto que el científico inglés no continuó investigando.

Esquema del tubo de Crookes con la cruz de Malta en su interior.

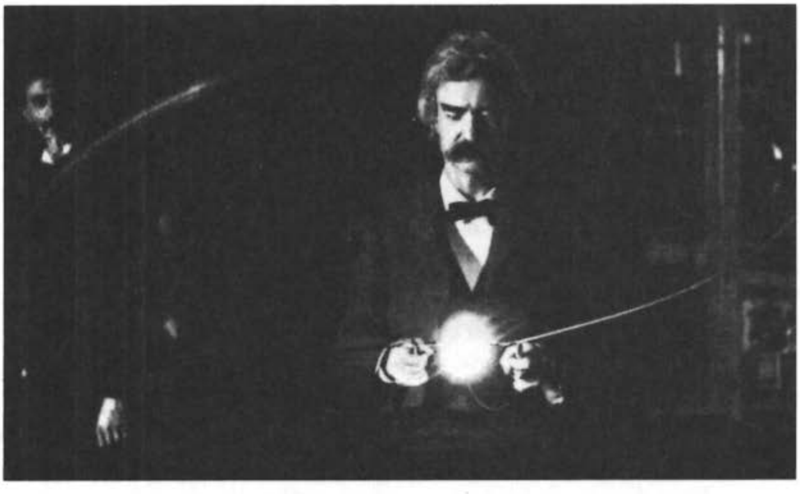
FIG. 9



Por su parte, Tesla, fascinado por el fenómeno que había detectado en sus experimentos fotográficos con su amigo, el escritor Mark Twain, consultó y estudió los trabajos de Crookes y se lanzó a investigar sobre los rayos catódicos. Para ello desarrolló su propio tubo, un bulbo unipolar, es decir,

UN DESCUBRIMIENTO FORTUITO

Desde que Tesla comenzó a experimentar con tubos de vacío para detectar la presencia de radiaciones, se acostumbró a colaborar con diversos fotógrafos de Manhattan. En 1894, Thomas Commerford Martin y Robert Johnson organizaron una sesión de fotografía en su laboratorio con un grupo de personajes famosos iluminados con las lámparas fluorescentes del inventor. La fotografía más célebre de aquella serie tiene como protagonista al escritor Mark Twain, gran amigo de Tesla, que visitaba el laboratorio con frecuencia y fue testigo de muchos de sus experimentos. En la famosa foto sujeta una lámpara que emite un brillo intenso, rodeado de penumbra; una imagen de atmósfera mágica en la que se puede entrever al inventor entre las tinieblas. Aquel mismo año, durante una de las frecuentes visitas de Twain, Tesla le propuso hacerle una fotografía, esta vez iluminado por un tubo de Geissler. Cuando los fotógrafos revelaron la placa fotográfica, descubrieron que en la imagen no aparecía el escritor sino que solo se veía uno de los tornillos de ajuste de la lente de la cámara. En aquel momento Tesla ignoraba que había hecho la primera fotografía con rayos X en Estados Unidos, pero de todos modos intuyó que el tubo había emitido un tipo de «radiación muy especial» que había provocado que en la placa se impresionara solamente una imagen del interior de la cámara.



Situado sobre una bobina resonante, Mark Twain sostiene un aro metálico que sujeta una lámpara incandescente. La corriente de alto voltaje y alta frecuencia pasa a través de su cuerpo y enciende la lámpara. Al fondo, Tesla maneja el interruptor.

con un solo electrodo que, al recibir alto voltaje de una de sus bobinas, producía una corriente de rayos catódicos que se estrellaba contra el extremo de cristal.

Tras desarrollar su propia versión del tubo de Crookes, Tesla advirtió que en el punto de impacto del tubo en la pared de cristal, o en el ánodo de un tubo bipolar, se generaban «unos rayos invisibles» que producían «marcas e imperfecciones anómalas». Su intuición resulta sorprendente. Los futuros tubos de rayos X seguirían el mismo principio. Expresado en los términos actuales, los rayos catódicos son un flujo de electrones, cosa que se comprendió tras una larga serie de experimentos, por ejemplo, con campos magnéticos. Cuando los electrones llegan al punto de impacto en el vidrio, se detienen bruscamente, y esa fuerte desaceleración emite ondas electromagnéticas de alta frecuencia, situadas en la región del espectro que corresponde a los rayos X. Esta radiación se conoce como *Bremsstrahlung* o radiación de frenado.

Nikola Tesla fue el primero en identificar esta radiación y sugerir su origen. En el mismo artículo donde la presentaba, afirmó que la corriente catódica estaba compuesta por partículas muy pequeñas. Esta idea no andaba desencaminada en absoluto. La física cuántica tardaría muchos años en describir las propiedades de las partículas elementales portadoras de todas las formas de radiación electromagnética, y por tanto responsables de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético, los llamados fotones.

Tesla descubrió que aquellos rayos indetectables por el ojo humano eran capaces de atravesar a personas incluso desde varios metros de distancia y obtuvo con ellos increíbles imágenes del cuerpo humano, que llamó «sombragramas». Al advertir que algunos tejidos eran más opacos a los rayos que otros, sugirió posibles usos clínicos, como determinar la posición de un cuerpo extraño dentro del cuerpo humano.

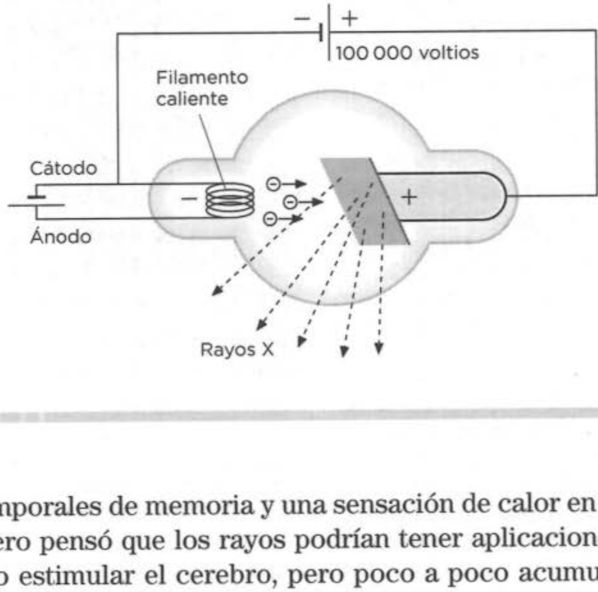
Por aquel entonces los científicos no eran conscientes de los peligros que entrañaban algunos de sus experimentos. El entusiasmo llevó a aquellos que investigaron los rayos X y, más tarde, la radiactividad, a realizar experimentos muy perjudiciales para su salud. El propio Tesla se expuso a sesiones de 40 minutos para obtener fotografías de su cráneo, lo que le causó luego somnolen-

LA RADIACIÓN DE FRENADO

En un tubo de rayos X, el filamento calienta el cátodo que emite electrones por emisión termoiónica. Los electrones son entonces acelerados por una diferencia de potencial y golpean el ánodo donde son dispersados. El electrón interactúa esencialmente con los núcleos del ánodo mediante el campo de Coulomb y transfiere impulso al núcleo. De acuerdo con la física clásica, una partícula cargada sometida a una aceleración (como el electrón en su interacción con el ánodo) debe radiar energía electromagnética de manera continua. Como la masa del núcleo es mucho mayor que la del electrón, aquel apenas adquiere energía y así, si T_i es la energía cinética inicial del electrón y T_f la final, en el proceso de frenado se desprenderá una energía ΔT dada por:

$$\Delta T = T_i - T_f$$

en forma de radiación de frenado.



cia, lapsus temporales de memoria y una sensación de calor en la cabeza. Primero pensó que los rayos podrían tener aplicaciones terapéuticas o estimular el cerebro, pero poco a poco acumuló síntomas preocupantes: irritación y dolor ocular, quemaduras en la piel, pérdida de cabello... Pronto se convenció de que la radiación no era inofensiva; y sería uno de los primeros en enunciar los tres criterios de seguridad para trabajar con rayos X: distancia, tiempo y protección.

Cuando el inventor se encontraba inmerso en aquellas investigaciones cruciales, varios acontecimientos de naturaleza contrapuesta le apartaron del camino que había emprendido con tan buen paso. En abril de 1895 se puso en marcha el primer gran generador de la planta hidroeléctrica de las cataratas del Niágara, con el nombre de Tesla y los números de sus patentes grabados en una placa. El plan de explotación de la obra cumplía todos los

LA PLANTA DE LAS CATARATAS DEL NIÁGARA



Sala de generadores de la central eléctrica número 1 de la planta hidroeléctrica del Niágara, bautizada como central Edward Dean Adams.

La impresionante planta hidroeléctrica de las cataratas del Niágara se consideró una nueva maravilla del mundo; su realización se prolongó durante años y requirió la colaboración de los mayores financieros del momento y de las empresas de ingeniería punteras. Westinghouse tuvo que ceder a General Electric, propietaria de algunas patentes esenciales, el contrato de las líneas de transmisión y distribución entre las cataratas del Niágara y la primera gran población que debía alcanzar, Buffalo, a 40 kilómetros de distancia. En 1896 la luz eléctrica generada por la central del Niágara iluminó las calles y los hogares de aquella ciudad, donde la recibieron con disparos de cañón, silbatos y campanas. El siguiente hito tuvo lugar cuando la Pittsburg Reduction Company, más tarde conocida como Aluminium Company of América (Alcoa), empezó a usar corriente alterna. La industria metalúrgica estaba estancada a la espera de poder utilizar altos voltajes. La fabricación de aluminio sería decisiva para el futuro, y en particular, para el desarrollo de la industria de la aviación. Pocos años más tarde, la electricidad del Niágara llegó a Nueva York y encendió por primera vez el famoso Broadway que aún deslumbra hoy en día.

plazos con éxito absoluto. Pero, como tantas otras veces en la vida del inventor, el feliz logro vino de la mano con la desgracia. El 13 de marzo de aquel año, a las dos y media de la madrugada, se declaró un incendio en los primeros pisos del 33-35 de la Quinta Avenida. Las llamas se expandieron con rapidez y arrasaron el edificio de seis plantas, que se vino abajo. El laboratorio de Nikola Tesla se encontraba en el cuarto piso.

Fue un golpe fatal. El trabajo de media vida en modelos, planos, notas, archivos, fotografías e instrumentos quedó completamente calcinado e irrecuperable. Solo las pérdidas en equipos de laboratorio y maquinaria de fabricación propia, de los que no existían réplicas, eran incalculables, sin mencionar los bienes desaparecidos en términos de conocimiento y tiempo invertido. Ni el laboratorio ni las máquinas estaban asegurados. Hasta entonces Tesla había disfrutado de una situación financiera privilegiada gracias a la venta de sus patentes, pero lo había invertido todo en equipos de investigación. La prensa calculó su perjuicio económico en 50 000 dólares, pero el inventor lo cifró en un millón, si añadía las pérdidas en futuras patentes y el coste de tener que comenzar de nuevo prácticamente desde cero. El efecto más inmediato fue el retraso de sus investigaciones, de algunas de las cuales quedó descabalgado para siempre, como es el caso de los rayos X. Los hallazgos de los últimos meses en ese campo se perdieron entre las llamas.

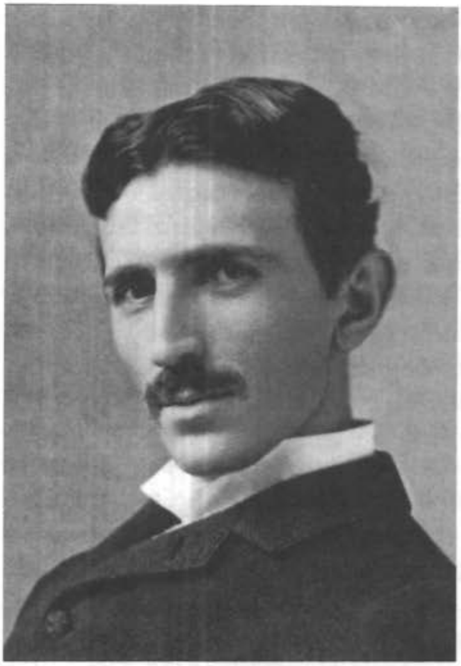
Tesla recibió muchas muestras de solidaridad ante esta tragedia, y los periódicos se hicieron eco de su ruina con titulares como «Desaparece la obra de un genio». El mismo Edison acudió en su ayuda, prestándole temporalmente un laboratorio en Nueva Jersey. Fue entonces, en esas difíciles circunstancias, cuando Edward Dean Adams, presidente de la comisión de las cataratas del Niágara y de la empresa constituida para su explotación, le ofreció medio millón de dólares para formar una nueva sociedad que tendría el respaldo de la corporación de J.P. Morgan. Tesla valoró seriamente la oferta. A favor estaba la tranquilidad que suponía aquel aval, pero en contra estaba el conocido comportamiento del banquero, que con la fusión de las compañías de Edison y Thomson para formar la General Electric había neutralizado a los dos

inventores, para luego poner a Westinghouse contra las cuerdas. La decisión de Tesla fue aceptar una ayuda de 40 000 dólares, pero rechazó formar una sociedad. Muchas personas de su entorno lo consideraron su segundo gran error en el mundo empresarial.

En noviembre de 1895, cuando Tesla aún no había encontrado un nuevo laboratorio para continuar con su trabajo, el físico alemán Wilhelm Röntgen (1845-1923), que estudiaba el comportamiento de los rayos catódicos, observó la existencia de unas radiaciones de naturaleza desconocida a las que llamó rayos X. Estas ondas se producían cuando los rayos catódicos incidían sobre las paredes de cristal de un tubo de vacío y se extendían desde esta fuente en todas direcciones. Se propagaban en línea recta, como la luz, afectaban al material fotográfico y no eran desviados por los campos eléctricos ni los magnéticos. Durante muchos años no estuvo claro si se trataba de ondas o de partículas. Röntgen descubrió que tenían la propiedad de atravesar con facilidad sustancias de baja densidad, como los músculos de una persona, y de ser absorbidos por materiales de densidad elevada, como los huesos humanos, por lo que propuso su aplicación en la medicina para obtener imágenes internas del cuerpo humano. En enero de 1896 se publicó el informe de su descubrimiento, acompañado de la radiografía de los huesos de la mano de su esposa, que se hizo célebre.

Poco tiempo después de hacer público su descubrimiento, Röntgen recibió una carta de Estados Unidos con las felicitaciones del respetado inventor Nikola Tesla y una serie de sus «sombragramas» que había logrado rescatar del desastre de su laboratorio. Se trataba, efectivamente, de imágenes tomadas con rayos X: una de ellas mostraba los huesos de la mano del propio inventor, otra, los huesos de un pie dentro de un zapato. La respuesta del alemán no se hizo esperar:

> Estimado señor. Me ha sorprendido usted tremendamente con sus bellas fotografías de maravillosas descargas y se lo agradezco profundamente. ¡Cómo me agradaría saber cómo ha conseguido usted realizar tal cosa! Con sincera expresión de respeto, atentamente suyo, W.C. Röntgen.





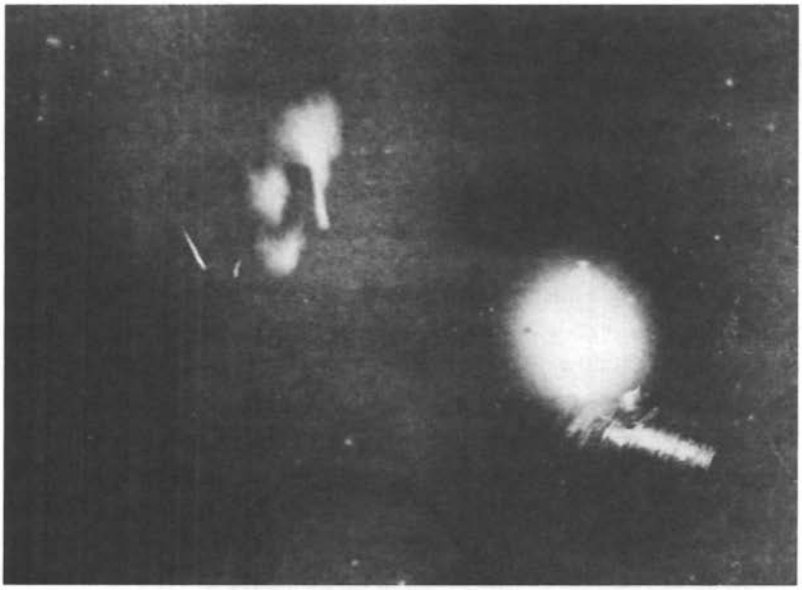


FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Nikola Tesla a los treinta y seis años, entrando en la cima de su fama.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
Tesla lee la *Theoria Philosophiae Naturalis* del físico y matemático dálmata del siglo XVIII Ruder Boskovich, inspirador de Faraday, junto a la espectacular espiral de una de sus bobinas.

FOTO INFERIOR:
Primera fotografía tomada con una luz fluorescente, donde aparece el inventor frente a una de sus lámparas.

El alemán recibió el premio Nobel de Física en 1901, el primero otorgado a esta rama de la ciencia. Donó el dinero a su universidad y se negó a patentar su descubrimiento, declarando que su deseo era beneficiar a la humanidad con las aplicaciones prácticas de los rayos X. También manifestó que no deseaba que los rayos llevaran su nombre, aunque en algunas partes del mundo se denominan así. Tesla jamás le disputó la paternidad del hallazgo. Röntgen había determinado el origen y las características de aquellos rayos, mientras que él no había llegado a desentrañar su misteriosa naturaleza. Con todo, las intuiciones de Tesla habían sido correctas; de no haber sucedido el desastroso incendio de su laboratorio, tal vez hubiera culminado sus investigaciones antes que su colega.

EL AUTÓMATA TELEDIRIGIDO

Tras el trágico incendio de su laboratorio, Tesla intentó volver cuanto antes a la actividad en un nuevo laboratorio situado en Houston Street, cerca de Chinatown. Estaba ansioso por continuar sus investigaciones en el mismo punto en el que las había tenido que abandonar, sobre todo aquellas relativas a la radiodifusión, un campo en el que se había desatado una lucha internacional sin cuartel. Westinghouse le prestó algunos aparatos, aunque a costa de gestiones largas y complicadas con subalternos, a quienes Tesla tuvo que recordar los beneficios que todavía proporcionaba a la compañía.

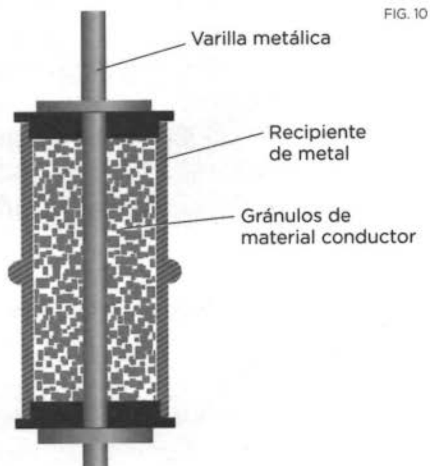
Sin embargo, tardaría mucho tiempo en recuperarse. El hecho de no disponer de equipos de su propiedad acabaría por convertirse en un grave problema. Había perdido su independencia financiera y se estaba adentrando en una espiral de endeudamiento. Preocupado por la financiación, dedicó 1896 y 1897 a rentabilizar económicamente sus investigaciones. Creía que podría aplicar sus descubrimientos en el campo de las ondas electromagnéticas a las disciplinas más diversas, y realizó algunas invenciones menores, ahora olvidadas, en el campo de la electroterapia.

A principios de 1898, cuando el país se preparaba para la inminente guerra hispano-estadounidense de Cuba, Tesla vio la oportunidad de sacar a la luz uno de sus inventos más avanzados, que daba fe de los espectaculares avances que había realizado en el campo de la transmisión de ondas sin cables, y aprovechó la primera Feria de la Electricidad, celebrada en Madison Square Garden, para hacer una demostración sensacional: el primer aparato mecánico dirigido por radio. Se trataba de un pequeño sumergible controlado a distancia y de manera inalámbrica mediante una emisora de control remoto. Esta exhibición tenía lugar dos años antes del nacimiento oficial de la radio a mano de Marconi y demostraba que Tesla podía enviar información e instrucciones por ese medio, y que conocía los principios de la automatización. Había integrado su herramienta principal con dispositivos mecánicos para el control de su movimiento. Sin embargo, la esperanza del inventor de llamar la atención de los altos mandos de la Marina sobre la utilidad militar de su ingenio cayó en saco roto.

Años antes de que se desarrollasen válvulas para detectar señales de radio, y medio siglo antes de la invención de los transistores, el barco de Tesla estaba equipado con un dispositivo muy ingenioso aunque mucho más primitivo para detectar las señales de su transmisor de radiocontrol (figura 10). Empleó un recipiente cilíndrico de metal lleno de gránulos de un material conductor, por ejemplo, metal oxidado. Las señales entrantes solo tenían fuerza para desplazar los gránulos de manera que entraran a formar parte de un circuito donde podrían conducir la electricidad y activar el motor o el timón. Para restablecer el detector, un motorcillo le daba la vuelta

Detector de señales de Tesla.

FIG. 10



como un reloj de arena mediante una varilla central metálica que lo atravesaba.

Este sencillo prototipo es el antepasado común de los vehículos teledirigidos de hoy día, de la industria de la automatización y de la robótica, la primera manifestación de una nueva era de desarrollos tecnológicos que aún tardaría muchos años en llegar. De hecho, durante la segunda mitad del siglo xx muchos investigadores en tecnología informática y robótica toparon

EL SUMERGIBLE DE TESLA

El sistema de Tesla podía aplicarse a cualquier tipo de vehículo susceptible de ser propulsado y dirigido, como un barco, un globo o un carro. Tal como se aprecia en las ilustraciones originales de la patente 613 809 de noviembre de 1889 (figuras 1 y 3), el prototipo era un barco (A) y podía diseñarse para llevar cualquier tipo de carga en varios compartimentos (B). La maquinaria propulsora era una hélice (C) fijada al eje de un motor electromagnético (D), alimentado por una serie de baterías (E). El motor de dirección (F) encajaba con una rueda dentada (G) fijada a la barra vertical (H) que rotaba para mover el timón (F'). El control del aparato se ejercía mediante un circuito receptor en conexión con una fuente remota sincronizada, como aparece en la figura 2.

FIG. 1

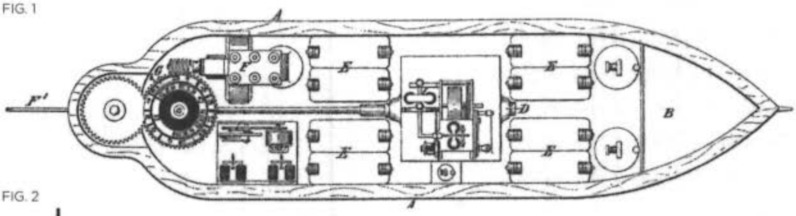
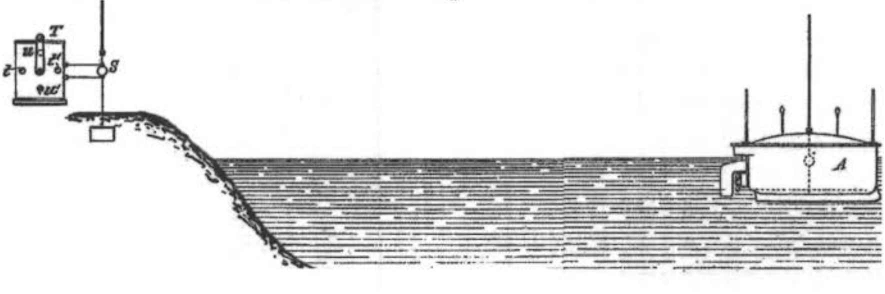


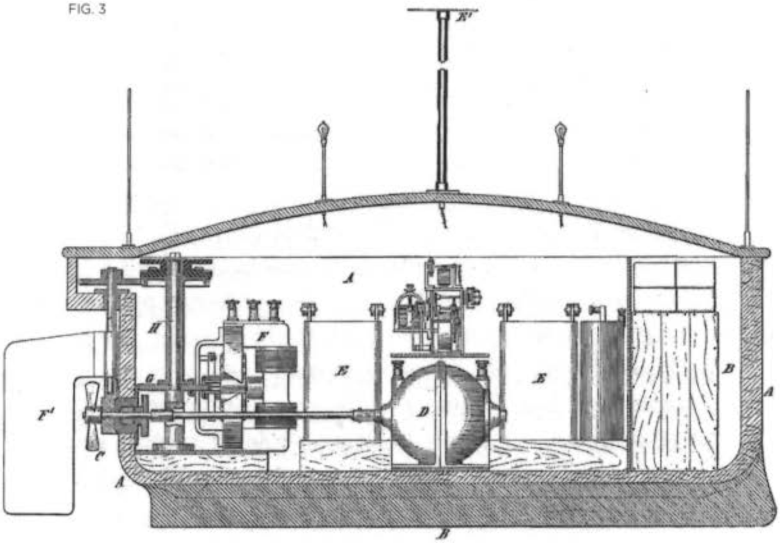
FIG. 2



asombrados con las patentes de Tesla al intentar registrar sus descubrimientos.

Aun así, aquella avanzada tecnología no alcanzó notoriedad alguna. La integración de control remoto y automatización era demasiado difícil de digerir. Los informes de las autoridades militares al respecto dan testimonio de la poca comprensión que recibió la idea y del peso que aún tenían las diferencias de acento y de color de piel en Estados Unidos. Era la época en que el industrial

FIG. 3



El principio del control remoto se basaba en el uso de un oscilador eléctrico (S) controlado mediante una caja de mandos (T). El control se ejercía mediante una palanca con cuatro posiciones que enviaban cuatro tipos de perturbaciones eléctricas distintas a la antena (E') del vehículo (A). El circuito receptor oscilaba con la misma frecuencia que las perturbaciones enviadas y convertía la electricidad en movimiento para activar el motor de propulsión —posición de adelante (u) y de atrás (u')— y el motor de dirección —posición de derecha (t) y de izquierda (t')—.

Andrew Carnegie, famoso por su filantropía, repetía: «Dentro de poco contaremos con una vigorosa raza de angloparlantes capaz de combatir casi todos los males del mundo».

A principios de 1899 Tesla no andaba bien de dinero. En su dispersión habitual, había fallado en la entrega de algunos modelos de electroterapia, como la almohadilla Tesla, que tenían la venta asegurada, pues el público ya los demandaba. Por otra parte, la comunidad científica criticaba sus vehículos teledirigidos intentando demostrar que sería imposible emplearlos en un escenario real, y el inventor no tenía más remedio que emplear su tiempo en acallar aquellas voces, glosando en artículos de respuesta las soluciones a los supuestos problemas. En el fondo, los ataques eran más una crítica contra sus métodos, con su individualismo, su secretismo y su gusto por el sensacionalismo, que contra sus logros. De hecho, las posibilidades financieras de la comercialización de aparatos inalámbricos llevaron a que Pupin, Edison y Marconi acordaran unir sus esfuerzos.

Por aquel entonces, Mark Twain se encontraba en una gira de conferencias por Europa. El escritor coincidía totalmente con su amigo Nikola en la esperanza de que la ciencia se convirtiese en motor de progreso y civilización. Sin embargo, en los últimos años del siglo XIX había visto con inquietud cómo las potencias mundiales la utilizaban para desarrollar máquinas de destrucción con una potencia inédita, en una escalada armamentística que culminaría catastróficamente años después, en la Primera Guerra Mundial. Cuando tuvo conocimiento de la existencia de los robots teledirigidos de Tesla le escribió la siguiente carta:

> Querido señor Tesla,
> ¿Tiene usted patentes para Austria e Inglaterra de ese terror destructivo que ha inventado? Si es así, ¿podría ponerles un precio y fijarme una comisión para venderlas? Conozco a miembros de los gabinetes de ambos países (y de Alemania también, así como al mismo Guillermo II).
> Aún estaré un año en Europa.
> Aquí en el hotel, la otra noche, cuando algunos hombres interesados en el tema estuvieron discutiendo los medios para persuadir

a las naciones de que se unieran al zar y al desarme, les aconsejé buscar algo más seguro que el desarme establecido por un precario contrato firmado en papel. «Inviten a los grandes inventores a que desarrollen algo contra lo que las flotas y los ejércitos sean inútiles, y entonces haremos que la guerra sea imposible.» No sospechaba que usted ya estaba trabajando en ello, preparándose para traer la paz permanente y el desarme de una manera práctica y obligatoria. Sé que usted es un hombre ocupado, pero ¿podría robar tiempo para hacerme llegar unas líneas?
Sinceramente suyo,
Mark Twain

Al parecer, el escritor llegó a entrar en conversaciones con diferentes Gobiernos europeos, aunque sin llegar a concretar ningún acuerdo. La historia del siglo XX desautorizaría la doctrina de la destrucción mutua asegurada como medida de disuasión para los conflictos bélicos. El propio Tesla reconoció años más tarde la ingenuidad de ese planteamiento: el aumento de la potencia de las armas no se detendría en ningún momento. Sin embargo, entre 1898 y 1899 intentó sin éxito interesar al Gobierno estadounidense en sus vehículos automatizados, y también a diferentes fabricantes, que lo consideraron una quimera.

Tesla continuaba estancado y necesitaba dar un golpe magistral. Pensó que era el momento de apostar de nuevo por la mejor baza: la transmisión inalámbrica de energía. Su experiencia acumulada a lo largo de la última década demostraba que la corteza terrestre era un extraordinario conductor para toda clase de ondas, pero para utilizarla era preciso averiguar cuál era la frecuencia de oscilación de la Tierra. Hallar la respuesta a esa pregunta ocuparía los siguientes años de su vida.

CAPÍTULO 4

El sueño inalámbrico

En los albores del siglo XX Nikola Tesla vio cómo se aproximaba a la confirmación de algunas de sus avanzadas ideas científicas sobre el futuro gracias a las pruebas que realizó en las montañas de Colorado, ensayos que le proporcionaron la confianza necesaria para emprender después la construcción de un centro de transmisión inalámbrica mundial de comunicaciones y electricidad. Su sueño era hacer posible un mundo de información libre y sin dependencia energética.

En 1899 Nikola Tesla propuso entrar en negocios a su amigo, el empresario John Jacob Astor IV (1864-1912), con quien solía mantener largas charlas cuando acudía a cenar en el Palm Room, uno de los restaurantes del hotel Waldorf-Astoria, del que aquel era propietario. El multimillonario estaba dispuesto a invertir en negocios con garantías, pero no quería saber nada de investigaciones abstrusas y arriesgadas. Tesla comprendió que jamás le convencería hablándole de revoluciones ni del futuro de la humanidad, así que remodeló su discurso a la medida de su comprensión. Le ofreció financiar el desarrollo de una nueva lámpara infinitamente superior a sus propias lámparas incandescentes, una lámpara que gastaba un tercio de energía, que duraba para siempre y tenía un costo de fabricación insignificante. Astor accedió a invertir 100 000 dólares a cambio de las patentes de las lámparas y los osciladores de Tesla. No sabía que el inventor tenía en mente otro uso para su dinero.

Tesla había hablado con Leonard Curtis, el abogado que había defendido los intereses de Westinghouse en la guerra de las corrientes, para que le ayudara a buscar un lugar donde continuar sus ensayos y calcular la frecuencia de la Tierra. Debía tratarse de un emplazamiento seguro donde nada interfiriese en la medición de los resultados; por lo tanto, debía estar alejado de la población pero al mismo tiempo tener suministro de energía eléctrica en

LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE COLORADO SPRINGS

Nikola Tesla emplazó su laboratorio de las montañas en unos terrenos a un kilómetro del pueblo, al pie del monte Pike, donde el aire era limpio y seco y estaba cargado de electricidad estática. La construcción humana más cercana era la Escuela para Ciegos y Sordos de Colorado. Un carpintero local construyó una nave siguiendo estrictamente sus instrucciones. La estación experimental de Colorado Springs era un edificio cuadrado de madera con aspecto de establo. A través de una abertura en el techo se alzaba una torre de 25 m desde el nivel del suelo, de la que sobresalía un mástil de metal hasta otros 40 m; en el extremo superior había una esfera de cobre de un metro de diámetro. El inventor la llenó de equipos sofisticados y pesados, tendió una cerca alrededor llena de carteles disuasorios para los posibles visitantes y colgó en la puerta de entrada un verso del *Infierno* de Dante: «Vosotros que aquí entráis, abandonad toda esperanza». En el pueblo corría el rumor de que allí se preparaba un aparato que, con un solo rayo, podría desintegrar a cien personas.



Tesla asoma por la puerta del laboratorio de Colorado Springs a principios del verano de 1899. En primer término un cartel advierte en tono casi burlesco «GRAN PELIGRO: NO PASAR».

gran cantidad y de agua en abundancia. Allí construiría un laboratorio a su medida para llevar a cabo experimentos con voltajes muy elevados, que realizaría a altas horas de la noche, cuando las líneas eléctricas estaban menos cargadas.

Curtis encontró la solución rápidamente. Era socio de la compañía eléctrica de Colorado Springs, un pueblo pequeño y tranquilo a unos cien kilómetros de Denver, la capital del estado

de Colorado. Colorado Springs había florecido apenas hacía unos años en las primeras estribaciones de las montañas Rocosas meridionales; estaba dominado por el monte Pike, una imponente montaña que atraía tormentas eléctricas y en cuyas laderas pastaba el ganado. Parecía la respuesta ideal a las necesidades de Tesla.

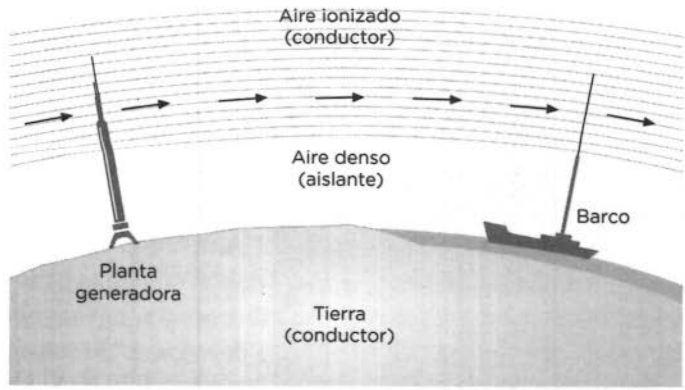
Tras un largo y polvoriento viaje desde Nueva York, con una breve parada en Chicago para una demostración de su autómata teledirigido, el inventor llegó al Hotel Alta Vista de Colorado Springs el 17 de mayo de 1899. Le aguardaban semanas frenéticas de preparativos, la construcción del laboratorio, la recepción e instalación de los equipos, todo a costa del dinero de Astor, que creía estar pagando algo muy distinto. Tesla se alojó en la habitación 207, pidió que le trajesen cada día 18 toallas limpias también y avisó de que él mismo se ocuparía de la limpieza de la estancia.

EL CIENTÍFICO ERMITAÑO

El objetivo de Tesla en Colorado era triple: desarrollar un transmisor de gran potencia, perfeccionar métodos para diferenciar y aislar la energía transmitida y determinar las leyes de propagación de la energía a través de la Tierra y su atmósfera. Si conseguía resolver las tres cuestiones, estaría en condiciones de diseñar un sistema de transmisión sin cables que superase al de Marconi y que pudiera transportar energía eléctrica barata sin cables por todo el planeta. También aseguraba que podría extraerse energía directamente del aire, la utopía de la fuente infinita; aspiraba a eliminar el problema de la creciente demanda energética y someter las condiciones meteorológicas, aunque en estos puntos nunca logró resultados notables.

Debido al rechazo, las burlas y las polémicas que había experimentado en los últimos años, tenía la determinación de ser discreto, aunque a los periodistas que acudieron a entrevistarle cuando llegó a Colorado les confesó que pretendía enviar un mensaje sin cables a París para la Exposición Universal de 1900, algo que finalmente

FIG. 1



no conseguiría. En realidad llevaba hablando de su proyecto desde sus conferencias de principios de la década de 1890, lo que había contribuido a alimentar la percepción que se tenía de él como visionario. Nadie había creído que fuera posible hacerlo ni que él se atreviera a intentarlo. En 1892 había explicado lo siguiente:

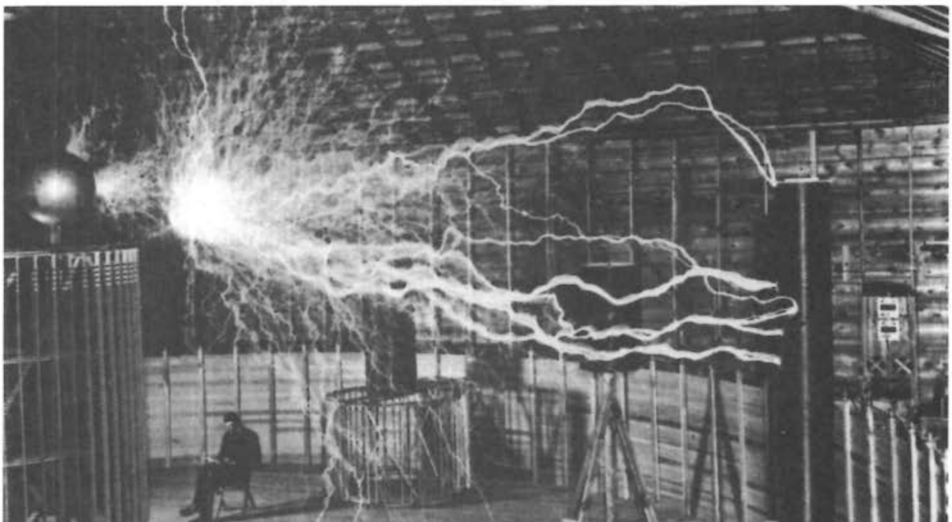
> En las capas altas, la atmósfera está enrarecida. No hay duda de que con las posibilidades que brindan las altas frecuencias y los materiales aislantes, las descargas luminosas podrían surcar kilómetros de este aire enrarecido, transportando así una energía de cientos de miles de caballos de fuerza capaces de poner en funcionamiento motores o lámparas, por alejados que estén de la central generadora. [...]. En el futuro, no habrá necesidad de transportar la energía, tan sencillo como eso. Las generaciones futuras tendrán la posibilidad de poner en marcha las máquinas con la energía que obtengan de cualquier punto del universo [figura 1].

En esencia, la instalación de Colorado Springs era un enorme transmisor dotado de un amplificador muy potente. Tesla lo definió en una abstrusa explicación publicada en *The Electrical Experimenter* como un «transformador en resonancia adaptado a las necesidades del planeta, a sus constantes y propiedades eléctri-



FOTO SUPERIOR:
Fotografía del experimento que muestra bombillas incandescentes convencionales que se encienden por efecto de una corriente inducida.

FOTO INFERIOR:
Tesla dedicó mucho tiempo en Colorado Springs a hacer experimentos fotográficos. Las descargas de millones de voltios que aparecen en esta imagen le hubieran fulminado de inmediato; en realidad esta serie de fotos se realizaron con doble exposición. Su impacto publicitario fue formidable.



cas», capaz de funcionar a cualquier frecuencia, desde muy pocos hasta millares de hercios, y de generar tensiones de cien millones de voltios o, por el contrario, muy bajas. Ya había fabricado una bobina capaz de generar cuatro millones de voltios; sin embargo, para poner a prueba si se podían realizar transmisiones a cualquier punto del planeta, necesitaba un voltaje muy superior.

Cuando ponía en marcha el potente equipo se formaban arcos de luz en los pararrayos de los edificios a 25 km a la redonda. La electricidad se transmitía también por el suelo, hacía correr desbocados a los caballos que pastaban en las praderas circundantes y ponía nerviosos a los animales que se hallaban aún a mayor distancia. Las noches en que trabajaba a toda potencia el cielo de la ladera del monte Pike se convertía en un pandemónium de chispas, truenos, torbellinos, halos luminosos y descargas sobre los objetos metálicos, que los espectadores casuales describían con terror. Mientras todo eso sucedía en los alrededores, dentro de la estación experimental el inventor y sus ayudantes trabajaban con los oídos tapados con algodón y zapatos con suelas de goma. En cierta ocasión, a causa de un ensayo a máxima potencia, se sobrecargó el generador de la compañía eléctrica del pueblo y se produjo un incendio en la línea que dejó toda la zona a oscuras. La compañía se negó en redondo a reanudar el suministro a las instalaciones de Tesla, que tuvo que pagar de su bolsillo a una cuadrilla de operarios para arreglar la avería.

Tras ocho meses de experimentos y de peticiones constantes y urgentes de más y más material a su laboratorio de Nueva York, después de mucho misterio y de un gasto desorbitado, Nikola Tesla no emergió de su encierro con ningún nuevo invento cuya aplicación práctica le permitiera llenarse los bolsillos de dólares. Desde el punto de vista de los inventores como Edison (con vocación empresarial), había perdido el tiempo y despilfarrado el dinero. Pero sus observaciones y comprobaciones confirmaron sus intuiciones y dotaron de una base conceptual consistente a su gran proyecto. Además, abrieron el camino de investigaciones relevantes en numerosos campos, estudios que otros científicos siguieron desde entonces y que irían aportando innovaciones en los años posteriores.

LOS «CUADERNOS DE COLORADO SPRINGS»

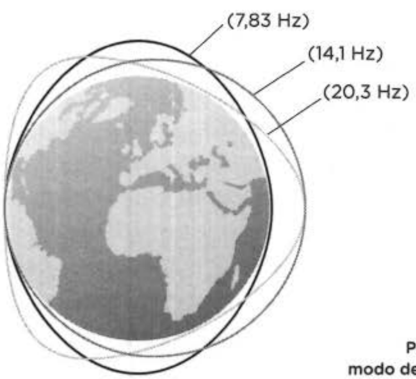
Por primera vez en su vida Tesla se preocupó en recoger los resultados de sus investigaciones en un diario. Los *Cuadernos de Colorado Springs* ofrecen una detallada descripción día a día de todos los experimentos que realizó entre el 1 de junio de 1899 y el 7 de enero de 1900. Al contrario que la mayoría de la documentación que se tiene del inventor, el diario es continuo y ordenado. Sin embargo, no está escrito para ser publicado —de hecho, no se publicó hasta 1978—, sino como un registro de información, quizá motivado por el desastre del incendio de 1895, por lo que a menudo requiere un cierto grado de interpretación. Más tarde sirvió a Tesla para cumplimentar sus solicitudes de patentes.

Las notas documentan su descubrimiento más relevante, que tuvo lugar durante las frecuentes tormentas, y a menudo violentas, que se daban en la zona. Mediante varios instrumentos de detección, Tesla observó que las señales de actividad eléctrica generada por las tormentas permanecían constantes aun cuando estas se alejaban y solo disminuían su intensidad cuando estaban a más de 300 km. ¿Cuál sería la causa? El inventor concluyó que se debía a que se trataba de ondas estacionarias, un fenómeno geoeléctrico conocido hoy día como resonancia Schumann. Al descubrirlo, Tesla creyó haber encontrado la piedra angular sobre la que basaría todo su proyecto de la transmisión inalámbrica de energía e información. Tras años de especulaciones, el inventor finalmente fue capaz de calcular la resonancia radioeléctrica de la Tierra: según sus consideraciones, se producía según frecuencias de 6, 18 y 30 Hz, aunque no pudo verificarlo de forma experimental porque necesitaba más potencia.

Las ideas de Tesla sobre la resonancia de la Tierra caerían en el olvido hasta la década de 1950, cuando un grupo de científicos que investigaban la propagación de las ondas electromagnéticas de muy baja y extremadamente baja frecuencia (de 3 a 30 kHz y de 1 a 3000 Hz, respectivamente) confirmaron sus postulados. El transmisor amplificador de Tesla fue el primer aparato capaz de generar una resonancia a una frecuencia extremadamente baja (ELF en sus siglas inglesas, por *Extremely Low Frequency*)

LA RESONANCIA SCHUMANN

La resonancia Schumann es un conjunto discreto de frecuencias de ondas electromagnéticas en la banda de frecuencia extremadamente baja (ELF) que constituyen el espectro radioeléctrico de la Tierra. El fenómeno se produce porque parte de la atmósfera, concretamente el espacio entre la superficie terrestre y la ionosfera, actúa como una guía de onda. El confinamiento de las ondas en este espacio provoca que esta guía actúe como cavidad resonante para ondas electromagnéticas de frecuencia específica, en la banda ELF (véase la figura). La frecuencia más baja, que es al mismo tiempo la intensidad más alta, se sitúa en los 7,83 Hz. Acoplamientos a frecuencias mayores se encuentran hasta el orden de kilohercios.



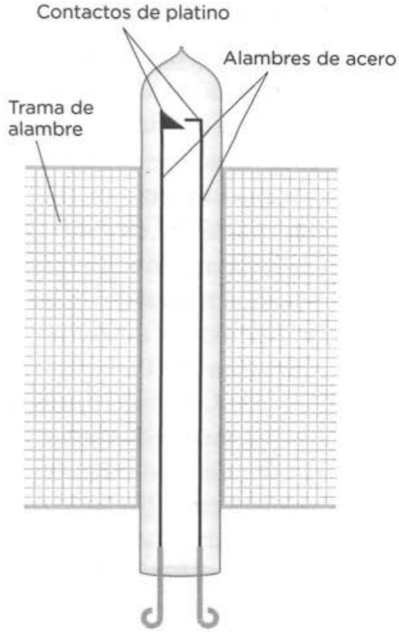
Primer, segundo y tercer modo de resonancia Schumann.

Las redes humanas de transmisión eléctrica influyen en la resonancia Schumann, naturalmente excitada por los relámpagos, debido a que uno de sus modos es próximo a los 60 Hz que se usan para el transporte eléctrico en algunos países. Este fenómeno físico recibe su nombre de Winfried Otto Schumann, quien predijo su existencia matemáticamente en 1952. Pese a esta atribución, fue observada por primera vez por Nikola Tesla, que basó en ella su propuesta para un sistema mundial de transmisión inalámbrica de energía y comunicaciones.

para efectivamente lograr la transmisión de ondas a través de capas bajo la ionosfera. En la década de 1960 se determinaría experimentalmente que los tres modos menores de la resonancia

LOS SENSORES DE TESLA

En sus instalaciones de Colorado Springs, Tesla dedicó mucho tiempo y esfuerzo a desarrollar sensores de señales. Se trataba de dispositivos automáticos extremadamente sensibles desarrollados a partir de sus propios tubos de vacío, con un diseño muy simple, pero plenamente operativos. Estaban compuestos por un alambre de acero con dos contactos de platino en la parte superior y una trama de alambre sobre la que reposaba el tubo de cristal. Cuando una perturbación eléctrica de una determinada frecuencia procedente de la estación emisora alcanzaba el circuito de la estación receptora, la corriente pasaba por la trama de alambre del sensor, haciendo que los alambres se aproximaran y se unieran los puntos de contacto.



Schumann son 7,83 Hz, 14,1 Hz y 20,3 Hz, cifras asombrosamente próximas a los cálculos de Tesla, hechos más de medio siglo antes con un equipo decimonónico.

Según sus notas, Tesla dedicó la mayor parte de su tiempo, cerca del 56%, a desarrollar su transmisor de alta frecuencia, un 21% a fabricar receptores y sensores de señales, un 16% a medir la capacidad de la gran antena del laboratorio, y un 6% a cuestiones menores. En todos aquellos campos, hizo logros extraordinarios: midió las radiaciones electromagnéticas generadas por las descargas eléctricas naturales, desarrolló sistemas de radio e iluminación y diseñó moduladores, antenas y dispositivos de todo tipo.

En el terreno de la telegrafía, Tesla consiguió enviar mensajes sin cables a más de 100 km. La entrada del 27 de junio de su diario

muestra el diagrama de su sistema. Las figuras 2, 3 y 4 ilustran algunas disposiciones de aparatos en la estación emisora por medio de los cuales se obtienen dos vibraciones de diferente tono. En la figura 2 se proporcionan dos circuitos de envío separados que se activan alternativamente por la descarga de sus condensadores a través de sus respectivas bobinas primarias. Las figuras 3 y 4 muestran un circuito de envío cuyo período se altera por la acción de una inductancia (figura 3), o cortocircuitando periódicamente una parte del circuito por medio de algún dispositivo automático de interrupción. En la estación receptora (R) dos circuitos sincronizados responden a las vibraciones respectivas del remitente, en la frecuencia correcta. El receptor responde solo cuando ambos circuitos I y II activan los dispositivos sensibles (a a_1).

En Colorado Springs Tesla realizó experimentos asombrosamente avanzados sobre el envío inalámbrico de voz. La entrada del 14 de junio muestra un sistema de envío de sonido sin cables especialmente diseñado para aumentar las señales débiles, como las producidas por la voz humana (figura 5, en la página 130). Emplea los elementos habituales para transmitir y amplificar la señal: un oscilador eléctrico, bobinas de inducción, descargas disruptivas, etc. Tesla esperaba recoger y luego reproducir el sonido mediante un sistema de inyección de aire que haría vibrar un diafragma, como en los teléfonos primitivos. Estudió la cuestión del «teléfono inalámbrico», como sería llamado bastantes décadas más tarde, desarrollando métodos de transmisión, auriculares y micrófonos.

En cuando a la iluminación inalámbrica, el cuaderno recoge numerosos experimentos que se extendieron por espacio de varios meses que el inventor dedicó a diseñar y ajustar equipos. Tesla consiguió alimentar una batería de doscientas lámparas incandescentes de cincuenta vatios a 40 km de distancia a través del suelo. Para ello tuvo que generar un volumen de electricidad de millones de voltios. Aunque no todos sus ensayos fueron tan titánicos. Un célebre experimento recogido en una serie de fotografías muestra bombillas incandescentes convencionales que se encienden por efecto de una corriente inducida en una espira de 4,5 m de lado, situada a 30 m de un circuito primario energizado por un oscilador. El circuito conectado a la espira incluye un con-

FIG. 2

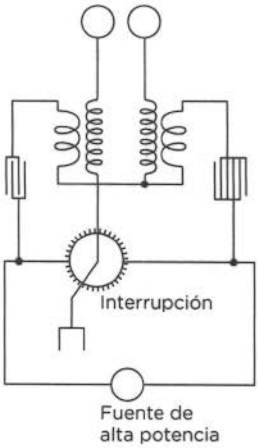


FIG. 3

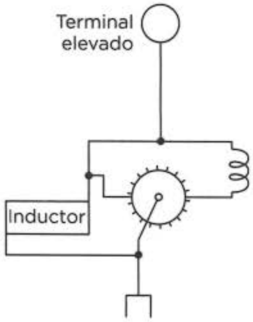
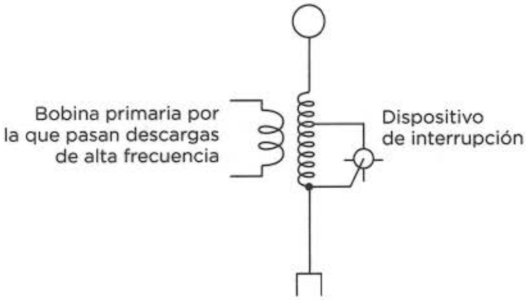


FIG. 4



ESTACIÓN RECEPTORA

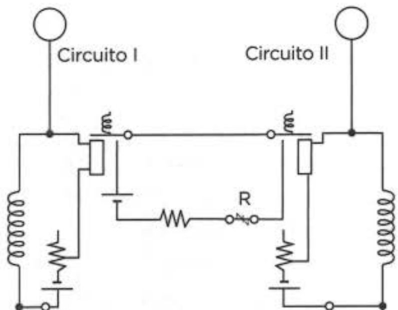


FIG. 5

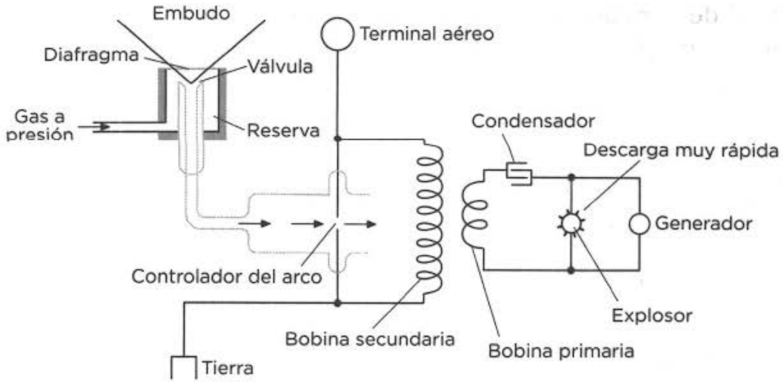


Diagrama del «teléfono inalámbrico» de Tesla en las notas correspondientes al día 14 de junio de 1899 en los *Cuadernos de Colorado Springs.*

densador sintonizado a la frecuencia de vibración del oscilador, que trabaja a menos de un 5% de su capacidad total.

En algunos casos, las notas de Colorado Springs son imprecisas y los investigadores han tenido que reinterpretar lo que Tesla creyó haber conseguido. Al parecer, gracias a su gigantesco oscilador, envió una radiación de 150000 Hz que se propagó en un frente de onda esférico, llegando a un punto terrestre situado en las antípodas de Colorado Springs, en el océano Índico, donde rebotó consigo misma y regresó a la estación experimental. Tesla creyó haberlo conseguido acoplándola a la frecuencia de la Tierra, pero no fue capaz de demostrarlo ni nadie lo ha hecho hasta el momento. En realidad, se desconoce cuáles serían las consecuencias de acoplar con la frecuencia de la Tierra un equipo de alta potencia. En las infaustas entrevistas que acompañaron a las fotografías de aquella época mostrándole entre tormentas de rayos, Tesla aseguró que temía prender fuego a la atmósfera con sus experimentos y que un oscilador potente acoplado a la frecuencia de la Tierra podría partirla en dos mitades; de hecho, dijo, él estaba en posición de hacerlo.

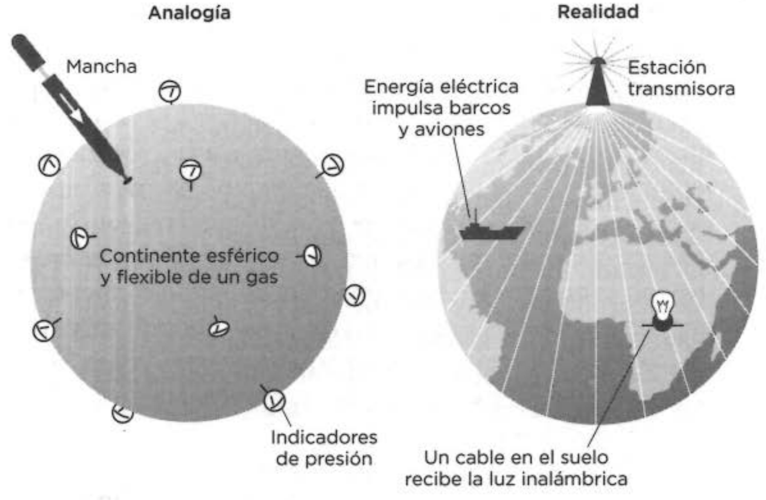
Al no haber causado efectos colaterales con aquel experimento, Tesla dio por suficientemente demostrado que la trans-

misión de energía a escala global era viable mediante un sistema parecido al de la radio: una central emisora y un sencillo equipo receptor, con un sintonizador, una conexión a tierra y una antena. En su idea, la Tierra era como un enorme globo. Del mismo modo que al insuflar aire por la boquilla del globo, la presión aumenta en todos sus puntos de manera uniforme, así al enviar energía de cierta frecuencia desde un punto de la Tierra, esta debía aumentar en cada punto del globo, pudiendo recibirse entonces, con los receptores adecuados, en forma de luz eléctrica, calor y energía (figura 6).

Tesla explicaba el comportamiento de las ondas estacionarias en aplicación a su teoría sobre la transmisión inalámbrica representando la Tierra como un globo al que se insufla aire con una bomba, de modo que la presión aumenta uniformemente en todos sus puntos.

Lamentablemente, aquel fecundo período de experimentación puntera en Colorado culminó con un gran patinazo de comunicación de Tesla, producido por la combinación entre sensacionalismo y secretismo que tanto le perjudicaba en sus declaraciones. Cierta noche se había quedado hasta altas horas escuchando el espacio radioeléctrico mediante un receptor de radio muy potente y sensible, cuando escuchó unos extraños pulsos rítmicos. El patrón acompasado de la señal le hizo pensar que debía ser producto de una mente inteligente. Como, en su opinión, en aquel momento

FIG. 6



no existía ninguna actividad humana que pudiera emitir señales de esa clase, concluyó que no podía ser más que un intento de comunicación por parte de seres de otro planeta, tal vez Venus o Marte, y se obsesionó con la idea de responder a él.

«Cualquier persona, en el mar o en la tierra, con un aparato sencillo y barato que cabe en el bolsillo, podría recibir noticias de cualquier parte del mundo o mensajes destinados solo al portador. La Tierra parecería, pues, un inconmensurable cerebro, capaz de emitir una respuesta desde cualquier punto.»

— Nikola Tesla.

Lo fabuloso del hallazgo debía haberle vuelto más precavido, pero decidió comunicarlo con la majestad debida a tal acontecimiento. La prensa se burló de él y la comunidad científica no le ahorró ninguna crítica, mezclando lo fantasioso de aquellas especulaciones con lo visionario de su proyecto energético. Sus verdaderos logros quedaron teñidos por la sospecha. Él reaccionó con displicencia, negándose a mostrar sus equipos y a divulgar más información hasta que hubiera acabado y perfeccionado su sistema.

Probablemente el inventor había escuchado ondas de radio procedentes del espacio exterior, cuya existencia no se reconoció hasta la década de 1920, lo que le convierte en un precursor accidental de la radioastronomía. En la actualidad registrar el ruido de fondo de las estrellas es relativamente común. En 1965 los radioastrónomos Arno Penzias (1933) y Robert Wilson (1936) «escucharon» algo mucho más impresionante: el rastro de la radiación cósmica de fondo remanente del Big Bang, que, tras haber alcanzado los bordes del universo, regresa a la Tierra en forma de microondas. Hoy día, incluso, cualquiera puede asistir a ese espectáculo en televisión: se ha calculado que el 1% de los ruidos estáticos que capta un televisor no sintonizado está producido por las microondas procedentes del origen del universo.

La llegada del año 1900 encontró a Tesla realizando los últimos ensayos y luego desmontando los equipos de la estación experimental de Colorado Springs para emprender el regreso

a Nueva York. A su regreso se instaló en el Waldorf-Astoria, tal vez como deferencia hacia su inversor principal; un movimiento osado, ya que, además del espectacular dispendio que significaba, tarde o temprano Astor preguntaría por las lámparas que había pagado. Sin grandes ceremonias ni aspavientos, trabajando, así había llegado para el inventor la entrada en el siglo en el cual su obra realmente medraría.

DISEÑANDO EL MUNDO DE HOY

En cuanto llegó a Nueva York, Tesla se enfrascó en redactar y presentar la batería de patentes relativas a la radiodifusión y la transmisión de energía que daba cuenta de su trabajo en Colorado. El conjunto de ellas suponía el diseño de un sistema de radio mundial que ofrecería una serie de servicios integrados: redes de radioteléfonos interconectados, señales horarias sincronizadas, boletines de noticias, receptores de bolsillo, comunicaciones privadas... Lo llamó «sistema mundial de transmisión inteligente». Eran los primeros meses del año 1900. Tesla estaba describiendo la sociedad que surgiría un siglo más tarde, la de la revolución digital, con Internet y los teléfonos móviles, el mundo de hoy.

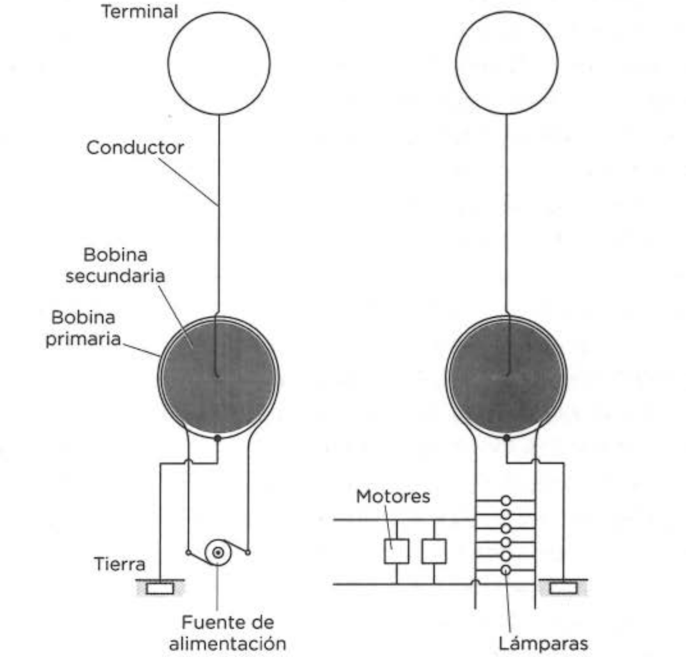
Tesla basaba sus esperanzas en el principio de que un gas a baja presión es un excelente conductor para corrientes de alta frecuencia. Como la presión límite en la cual el gas se convierte en buen conductor es más elevada que el voltaje, sostenía que no sería necesario elevar un conductor de metal a muchos kilómetros sobre el nivel del mar, porque se podrían alcanzar las capas de la atmósfera que serían buenas conductoras a una altura razonablemente baja. En una de las patentes fundamentales del sistema, la 649 621, titulada «Aparato para la transmisión de energía eléctrica», el propio inventor expone que «mi invento consiste en producir en cierto punto una presión eléctrica de tal carácter y magnitud que produzca una corriente que atraviese los estratos elevados del aire entre el punto de generación y un punto distante en el que la energía será recibida».

Los diagramas de la patente muestran los aparatos con que Tesla efectuó demostraciones experimentales de transmisión de energía a través de gases rarificados (figura 7). En el conductor la presión estaba entre los 120 y los 150 mmHg (milímetros de mercurio, medida de presión equivalente al torr, la unidad de presión denominada así en honor del físico italiano Evangelista Torricelli). A esta presión, y con los circuitos sintonizados en resonancia, consiguió realizar transmisiones eficientes de energía con un voltaje de entre dos y cuatro millones de voltios en el terminal. En su solicitud, Tesla reclamó también los derechos de patente sobre otro método de transmisión similar que empleaba la Tierra como un conductor y las capas altas de la atmósfera como el otro.

El inventor era consciente de que Marconi avanzaba a buen paso en la carrera por situarse a la cabeza de las transmisiones

Diagrama de la patente 649 621, titulada «Aparato para la transmisión de energía eléctrica»

FIG. 7



radiofónicas de largo alcance, culminando con éxito emisiones cada vez a mayor distancia en los meses en que su rival había desaparecido. Por ese motivo, estaba ansioso por construir el primer centro emisor de su sistema mundial de transmisión y liquidar la cuestión con un aldabonazo, como había sucedido con la guerra de las corrientes. Una vez más había que lanzarse a la caza de dinero fresco, con la dificultad añadida de la mala prensa que había generado en los últimos tiempos.

Su primer movimiento fue acudir a Westinghouse con la exclusiva de su sistema para establecer comunicaciones telegráficas sin hilos (según la jerga de la época) con cualquier punto del planeta. Con la confianza de las dificultades compartidas, le confesó también que aquel era el primer paso de una empresa más trascendente: el transporte de energía eléctrica. Sin embargo, el magnate decidió que ya habían arriesgado demasiado juntos y Tesla volvió de Pittsburg con las manos vacías.

La primavera de 1900 fue penosa y frustrante. Todos los acercamientos a potenciales inversores fracasaron, mientras que las acciones de la British Marconi Company salían a bolsa con éxito explosivo, respaldadas públicamente por Andrew Carnegie, Thomas Alva Edison y Michael Pupin, este último en calidad de ingeniero asesor.

Para dejarse ver, Tesla frecuentó de nuevo el exclusivo Player's Club, donde había conocido a Mark Twain, que era socio fundador, y volvió a cenar en el Palm Room del Waldorf-Astoria y en el prohibitivo Delmonico's. Robert Johnson le echó una mano en la campaña de comunicación que debía contrarrestar su controvertida imagen del momento. *The Century Magazine* publicó la célebre serie de artículos titulados «El problema del aumento de la energía del hombre», inicialmente una exposición sobre los descubrimientos de Colorado Springs y el gran proyecto subsiguiente, que acabó más bien como un compendio de consideraciones filosóficas sobre el futuro. A pesar de su prosa desordenada, el texto tuvo el efecto que pretendía, en gran medida gracias a las espectaculares fotografías que lo acompañaban. Las impactantes imágenes y los vaticinios de Tesla le devolvieron el favor de la prensa, pero al mismo tiempo provocaron las críticas de la

ANTICIPANDO INTERNET

En un texto publicitario escrito en 1900 para captar inversores Tesla exponía las características de su sistema mundial de transmisión detallando los servicios que podía proporcionar. Al leerlos más de un siglo después es imposible no reconocer en ellos una anticipación de la tecnología sin hilos *(wireless)* e incluso de Internet: teléfonos móviles, GPS *(Global Positioning System)*, correo electrónico, archivos compartidos, encriptación de datos...

> La primera planta de energía del sistema mundial [...] se ha diseñado para que sirva a tantos logros técnicos como sea posible sin un costo excesivo. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:
>
> 1. La interconexión mundial de todas las centrales u oficinas de telégrafo existentes.
>
> 2. El establecimiento de un servicio telegráfico gubernamental secreto e imposible de interceptar.
>
> 3. La interconexión de todas las centrales de teléfono existentes en el planeta.
>
> 4. La distribución universal de noticias generales, por teléfono o por telégrafo en conexión con la prensa.

comunidad científica, cuyo reconocimiento él tanto ansiaba. Lo importante era que muchos capitalistas aún veían con buenos ojos los ingentes beneficios económicos que el inventor había proporcionado a Westinghouse.

El primer inversor en interesarse por el sistema mundial de transmisión de Tesla fue el reputado arquitecto Stanford White (1853-1906), responsable del segundo Madison Square Garden, del Arco del Triunfo de Washington Square y de muchos edificios emblemáticos neoyorquinos, así como el favorito de las grandes familias de la alta sociedad, como los Astor o los Vanderbilt. White se convirtió en uno de sus más firmes defensores y se ofreció para construir el edificio que debía de albergar el primer centro de emisión.

Pero si hubo algún lector del artículo de *The Century Magazine* cuyo interés resultara vital para la futurista visión de Tesla,

5. El establecimiento de un sistema mundial de transmisión inteligente para uso privado.

6. La interconexión y manejo de todas las cintas de cotización del mundo.

7. El establecimiento de un sistema mundial de distribución musical, etcétera.

8. El registro universal del tiempo mediante relojes baratos que indicarán la hora con una precisión astronómica y que no requerirán cuidado de ningún tipo.

9. La transmisión mundial de caracteres, letras, cuadros, etc., dactilografiados o escritos a mano.

10. El establecimiento de un servicio marino universal que permita a los navegantes de todos los barcos dirigir sus naves a la perfección sin compás; determinar la posición, hora y velocidad exactas; prevenir colisiones y otro tipo de desastres, etcétera.

11. La inauguración de un sistema de imprenta mundial en tierra y en el mar.

12. La reproducción mundial de imágenes fotográficas y de todo tipo de dibujos o registros.

ese fue sin duda John Pierpont Morgan. A mediados de otoño de 1900, Morgan se aproximó al inventor para interesarse por el proyecto. Tesla escanció con prudencia los detalles: expuso su idea sobre la radiodifusión de alcance mundial desde un solo punto emisor, pero ocultó el tema de la transmisión de energía, porque ponía en peligro las inversiones y los esfuerzos que Morgan acababa de realizar. El financiero olfateó la magnitud de la propuesta y sobre todo los beneficios potenciales. La posibilidad de centralizar todos los servicios en un solo punto ponía a su propietario en posición de monopolio, y esa era la posición que él consideraba ideal en los negocios.

La negociación para cerrar un acuerdo fue muy dura. Tesla no quería cometer otro error empresarial, mientras que Morgan era un gran empresario muy experimentado. El inventor estimó

en 100 000 dólares el coste del primer centro emisor, que enviaría mensajes a través del Atlántico, y en 250 000 la construcción del segundo, para el Pacífico. Aseguraba poder tenerlos acabados en nueve meses y un año respectivamente. Morgan aceptó financiar el proyecto hasta un límite de 150 000 dólares y exigió el 51 % de todas las patentes que se generaran, además de permanecer en el anonimato como inversor, un evidente rasgo de cautela. Tesla tenía cada vez menos opciones, sobre todo ahora que se dedicaba a huir de Astor. El 1 de marzo de 1901 rubricó el acuerdo aunque el 51 % de Morgan significaba que podía abortar el proyecto si los resultados no le satisfacían, quedándose con todo lo que juzgara aprovechable. Además, al quedar Morgan en el anonimato, a Tesla le resultaría difícil encontrar más inversores; la participación del financiero en el proyecto podía convertirse en un poderoso imán para otros capitalistas, mientras que mantener en secreto la identidad del inversor principal resultaría, en cambio, un elemento extraño y disuasorio. En suma, en su intento de enmendar sus errores pasados, el inventor firmó de nuevo un acuerdo desastroso.

> «El científico no tiene como objetivo el resultado inmediato, no espera que sus avanzadas ideas sen aceptadas con facilidad. su deber es sentar las bases para aquellos que están por venir, e indicarles el camino.»
>
> — Nikola Tesla.

Con el primer adelanto económico de Morgan, Tesla buscó un terreno adecuado para emplazar su central de emisión transatlántica. El banquero y abogado James S. Warden le vendió 80 hectáreas en Long Island y, en su honor, Tesla bautizó el lugar como Wardenclyffe. El inventor imaginó que a su alrededor se extendería uno de los parques empresariales más grandes del país, que daría trabajo a miles de personas cuyas familias residirían en nuevas urbanizaciones situadas en las cercanías. Entre tanto, contrató agentes inmobiliarios para que buscaran un terreno homólogo en la costa occidental de Inglaterra. Luego visitó a Westinghouse en Pittsburg para encargarle diversos equipos y también comenzó

a trabajar con el estudio de arquitectura de Stanford White en un proyecto de gran complejidad técnica, pues tenía que satisfacer los requisitos de construcción y a la vez responder a las necesidades de la tecnología que debía albergar.

El 11 de diciembre de 1901 comenzaron oficialmente las obras, oscurecidas por una sombra: el 6 de diciembre, cinco días antes, Marconi había logrado transmitir la letra «S» en código morse desde el Reino Unido a Canadá, cubriendo una distancia de 3200 km. El sueño de Tesla no empezaba con buen pie.

LA TORRE WARDENCLYFFE

A principios de 1902 parecía que Marconi había ganado la partida a Tesla en la carrera de la radio. El 13 de enero T.C. Martin organizó un homenaje para el joven aspirante en el Waldorf-Astoria, que se rindió a sus pies. A pesar de ello Tesla estaba tranquilo. Sabía que el italiano había utilizado patentes de su propiedad y que podría reclamar más adelante. Lo importante era Wardenclyffe, un proyecto de un alcance inaudito, un cambio de paradigma que dejaba pequeño el hito de la corriente alterna y las pruebas de Marconi. En su opinión, su sistema mundial de transmisión inauguraría una era de abundancia como nunca había visto el mundo. Ni siquiera Morgan era consciente de lo que estaban a punto de conseguir.

Sin embargo, todo aquel entusiasmo no podía esconder el verdadero problema con que nacía Wardenclyffe: para culminar el proyecto era necesario mucho más dinero del que Morgan aportaba y todos los grifos parecían atascados para el antes admirado Nikola Tesla. Los inversores permanecían a la expectativa, reservando su decisión para apostar al caballo ganador en el negocio de la radio, donde también competían Edison y otros con menos esperanzas. El sistema mundial de transmisión era un caballo musculoso pero contrahecho; ciertamente, un animal con poco aspecto de favorito.

Wardenclyffe acumuló problemas desde el principio en todos los frentes. Stanford White advirtió que los cálculos de Tesla,

EL COMPLEJO WARDENCLYFFE

El complejo Wardenclyffe de Long Island estaba dividido en dos secciones principales: el edificio principal y la torre de transmisiones, que se llamó torre Wardenclyffe. Se entraba a través del edificio principal, una estructura grande y pesada de ladrillo, diseñado por Stanford White con un aire vagamente renacentista, detrás del cual se encontraba la torre. El edificio principal alojaba un laboratorio y un taller mecánico, así como una biblioteca y una oficina. También se encontraban allí la sala de control, el cuarto de calderas y el de los generadores, desde el que se accedía al túnel subterráneo que conectaba con la escalera de caracol que rodeaba el eje central de la torre. Las instalaciones estaban repletas de todo tipo de dispositivos electromecánicos, generadores y transformadores eléctricos, aparatos de rayos X, bobinas e incluso un taller de soplado de vidrio.



El complejo Wardenclyffe de Long Island comprendía una central eléctrica, un laboratorio y una torre de transmisiones.

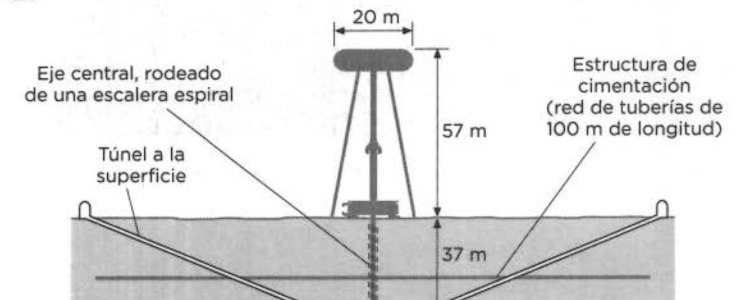
como la altura de la torre necesaria para realizar transmisiones transatlánticas, eran impracticables en la realidad a causa de su resistencia al viento. Reajustarlo todo supuso varios meses de trabajo. La torre era una estructura de vigas de madera con planta

octogonal; medía 57 m de altura y estaba rematada por un gigantesco electrodo de 20 m de diámetro y 55 toneladas de peso; la atravesaba un tubo de acero que se hundía 37 m en el suelo, hasta uno de los acuíferos de la zona (figura 8). La intención del inventor era aprovechar la capacidad de resonancia del agua.

La patente 1 119 732, que expone su composición y funcionamiento, muestra hasta qué punto es una evolución sofisticada de los sistemas de transmisión que Tesla ya había desarrollado, como el *Aparato para la transmisión de energía eléctrica* citado anteriormente. Estaba coronada por un terminal (*D*), que consistía en un bastidor metálico en forma de anillo recubierto de placas de metal semiesféricas (*P P*), es decir, una superficie conductora de gran tamaño. En el hueco interior se alojaban instrumentos de medición y dispositivos de seguridad. El anillo estaba montado sobre una estructura aislante de vigas de madera (*F F*).

En la base, los elementos también estaban montados sobre una estructura aislante de madera (*F'*). El circuito comprendía una bobina (*A*) en relación inductiva con una bobina primaria (*C*). En uno de sus extremos, la bobina *A* conectaba con una placa en tierra (*E*) y, en el otro, con otra bobina de autoinducción (*B*), que se elevaba en el centro de la torre. La bobina *B* estaba enrollada alrededor de un bastidor o tambor (*D'*) de material aislante y lle-

FIG. 8



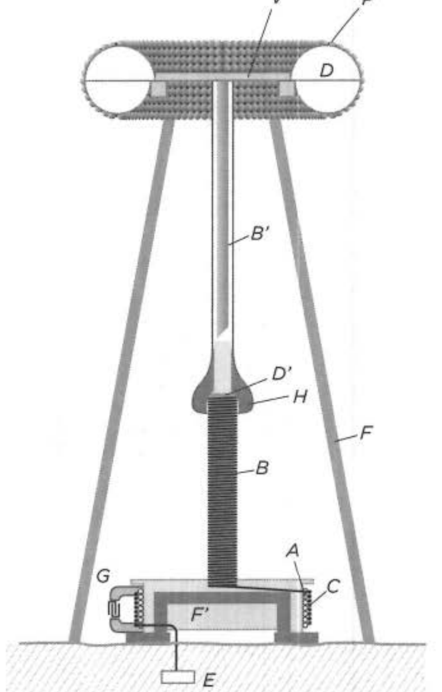
El diseño de la torre Wardenclyffe incluyó una extensa estructura subterránea que unía los diferentes edificios del complejo, construida tanto por necesidades técnicas como por motivos de seguridad.

Según expuso Tesla en la patente n.º 1119 732, que describía con detalle el funcionamiento de la torre Wardenclyffe, el dispositivo era una sofisticación de gran tamaño de sus sistemas de transmisión anteriores, básicamente un oscilador electromagnético de altísima potencia.

vaba hasta el conductor (*B'*), un cilindro metálico de superficie pulida. Como medida de seguridad, la conexión entre la bobina *B* y el conductor *B'* estaba protegida por una campana hecha con material aislante (*H*). El conductor *B'* llevaba hasta el terminal *D*, encajando en el centro del anillo con el fin de asegurar una distribución simétrica de la corriente, pues, de lo contrario, las altas frecuencias y el flujo de alto volumen afectarían el rendimiento del aparato (figura 9).

La bobina primaria *C* se alimentaba a partir de un generador de corriente convencional (*G*), pero que, en todo caso, debía tener suficiente capacidad para llevar el circuito a la máxima potencia. En Long Island, Tesla empleó un generador industrial de corriente alterna Westinghouse de 200 Kw. La puesta en marcha del circuito resonante *E A B B'* debía realizarse con especial cuidado, porque alcanzaba fácilmente potencias capaces de provocar fenómenos eléctricos de gran violencia. Para mantener el control del aparato en todo momento, se comenzaba a ajustar con oscilaciones débiles y lentas que luego se iban aumentando de manera gradual. La placa (*V*), situada en el hueco del anillo, tenía la función de actuar como la válvula de seguridad de un depósito de alta presión. Su diseño permitía que disipara en el aire las descargas de gran alcance que podían producirse durante el aumento progresivo de potencia.

FIG. 9



Aunque Tesla no lograría finalizar la construcción de aquella primera estación transmisora, sí consiguió avanzarla lo suficiente como para ponerla en marcha. Sin embargo, jamás conseguiría edi-

ficar una estación receptora para demostrar que su sistema era viable. Actualmente, de hecho, todavía no está claro si la visión de Tesla era correcta. La idea nunca se ha abandonado, pero en general, el trabajo teórico y experimental que se ha hecho al respecto no se ha basado exactamente en los principios de Tesla. Se han hecho ensayos exitosos de transmisión inalámbrica de energía en entornos controlados, como los realizados en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), pero jamás a la escala que el inventor pretendía. Sea como fuere, el proyecto de Tesla quedó inconcluso y sus principios sin demostrar.

Morgan enviaba sus remesas de dinero con gran lentitud y siempre tras un proceso agotador de reclamaciones escritas. En aquella época estaba inmerso en una operación formidable, la creación de U.S. Steel, la mayor corporación de Estados Unidos hasta el momento, con la que pretendía imponerse al gran señor norteamericano del acero, Andrew Carnegie. La titánica operación atravesaba por un momento extremadamente delicado a causa del pánico financiero que había comenzado en 1901, el primer *crack* de la Bolsa de Nueva York, producido por las luchas entre magnates, entre ellos Morgan, por el control de la Northern Pacific Railway. La relación entre el inventor y su patrón adquirió pronto un tinte de servilismo que queda patente en las cartas que intercambiaron en aquellos tiempos.

Cuando empezó a escasear el dinero para pagar a los trabajadores, el ritmo de construcción se hizo intermitente. Tesla tuvo que desviarse de su propósito inicial y dedicarse a aceptar todo tipo de encargos, a vender prototipos e invenciones a cualquier precio y, por supuesto, a intentar buscar financiación por difícil que fuera. Entre tanto, seguía alojado en el Waldorf-Astoria y acudiendo a actos sociales de gran boato para dar la impresión de estabilidad financiera, cuando en realidad se estaba precipitando por un pozo sin fondo.

El edificio principal del complejo llegó a ser apto para su uso, pero la torre Wardenclyffe nunca llegó a finalizarse como indicaban los planos. Aun así, como se ha dicho, Tesla inició la fase de pruebas para acallar las voces críticas que entonaban su canto fúnebre llamándole «gran esperanza convertida en vana promesa»,

en palabras de un redactor de la revista *Electrical Age*. El equipo de Long Island era mucho más potente que el de Colorado Springs, y la población, más próxima y numerosa. La maquinaria desgarraba la noche con rayos y descargas de aspecto apocalíptico que causaron pánico en la gente. De todos modos, el espectáculo no duraría mucho. Cuando la compañía Westinghouse reclamó el pago del alquiler de los equipos que había cedido, o por el contrario, su devolución, la situación alcanzó su punto álgido. Para reclamar a su inversor el dinero necesario, Tesla se creyó en la obligación de confesarle el auténtico objetivo de Wardenclyffe. Y, tal como temía, en cuanto Morgan descubrió que estaba financiando el sueño de un mundo sin dependencia energética, le respondió con una última y lacónica carta:

> Querido señor,
> En respuesta a su nota lamento decir que no es mi intención adelantar cantidad alguna más de las que ya le he dicho. Por supuesto, le deseo toda la suerte en su empresa.
> Sinceramente suyo,
> J. Pierpont Morgan

La contestación de Tesla no fue menos contundente; en un extenso y magnífico reportaje reveló a bombo y platillo la identidad del gran financiador de Wardenclyffe. A continuación, siguió escribiéndole con descaro para pedir dinero, cada vez en menor cantidad, pero sin cesar. El banquero jamás respondió y se dedicó a bloquear los contactos del inventor con otros millonarios, convirtiéndolo en un apestado en Wall Street. Su única relación posterior fue a través de su abogado, quien comunicó a Tesla que si pretendía llegar a un acuerdo con un tercero debía comprarle a Morgan su 51%, algo totalmente imposible para el inventor.

En junio de 1904, un juez embargó la estación experimental de Colorado Springs para pagar la deuda de consumo de electricidad que el inventor había contraído con la compañía eléctrica local al gastar mucho más de lo esperado, aunque le habían prometido suministro gratuito. A esa demanda se unió otra del ayuntamiento de la localidad por facturas de agua y una denuncia del

LA CONSPIRACIÓN DE MORGAN

Tras el penoso desenlace de la relación empresarial entre J.P. Morgan y Nikola Tesla, el banquero borró al inventor de su vida. Tesla no aparece en ningún registro de sus empresas o negocios, en ningún diario ni anotación, y ni siquiera se le menciona en sus biografías, como si jamás se hubieran conocido. La abundante rumorología que rodea la figura de Tesla ha producido muchas especulaciones acerca de la idea de que, al detectar el peligro de una tecnología emergente que podía dar al traste con su imperio, Morgan orquestó un boicot premeditado de las investigaciones del inventor. De hecho, en cuanto el desastre del proyecto se hizo público, corrieron rumores de que Morgan había adquirido las patentes de Tesla para impedir que desarrollara su proyecto. Pero lo cierto es que el riesgo de que Tesla hundiera la industria energética con su sistema era una posibilidad más que remota en la década de 1900. Además, de haber tenido éxito en el campo de las telecomunicaciones, Morgan hubiera hecho un negocio espectacular. Tal vez sea más razonable pensar que para el financiero Tesla fue simplemente otra inversión fallida en la guerra por no perder pie en la vanguardia del mundo empresarial, un error que luego se esforzó en olvidar.

que había sido el vigilante, por salarios impagados. Las instalaciones fueron derribadas y vendidas como leña. Los aparatos intervenidos acabaron en un depósito. Durante 1905, la estación de Wardenclyffe pasó más tiempo parada que en construcción, con el inventor cada vez más ausente intentando sortear las deudas con inventos prácticos y de fácil salida, hasta que finalmente los trabajadores dejaron de acudir. Una mañana la obra no despertó; ya no lo haría jamás.

De algún modo parecía que Wardenclyffe necesitaba un certificado oficial de clausura, y lo obtuvo de un modo trágico. La noche del 25 de junio de 1906, Harry Kendall Thaw, heredero de una de las mayores fortunas de Estados Unidos, aquejado de severos trastornos mentales y notorio drogadicto, le descerrajó a Stanford White tres disparos mortales en la terraza del Madison Square Garden, ante la mirada atónita de la alta sociedad neoyorquina. El motivo, aparte de una vieja enemistad, fue que Thaw estaba convencido de que el arquitecto, un famoso mujeriego,

se entendía con su esposa, una antigua corista. La influencia y el poder de los Thaw lograron que el jurado declarara inocente al multimillonario alegando locura transitoria, en una sentencia inédita en la historia judicial de Estados Unidos. Tras el luctuoso suceso, Tesla se quedó irremediablemente solo. En los últimos meses, incluso Robert Johnson se había alejado de él, preocupado porque su vinculación empresarial con el inventor enturbiara su posición al frente de *The Century Magazine*.

Fue entonces cuando Nikola Tesla, en otros tiempos una auténtica dinamo humana, comprendió que tenía que asumir el fracaso del proyecto de su vida. Sufrió una crisis nerviosa y se recluyó durante largo tiempo. Habían pasado dos décadas desde que abandonara a Edison para librar una guerra tenaz bajo la bandera de un sueño y, finalmente, el sueño había muerto.

CAPÍTULO 5

Los últimos destellos de genialidad

Nikola Tesla jamás se recuperó del descalabro de su sistema mundial de transmisión, que le hizo perder la carrera de la radio. Sus mejores años habían quedado atrás y una nueva generación de científicos reemplazaba a la anterior avanzando en el estudio del átomo y la física nuclear. Entonces comenzó el proceso de olvido que ensombrecería su nombre en la historia de la ciencia y la técnica, superado por el de sus colegas de profesión. Aun así, todavía crearía algunos ingenios sorprendentes basados en intuiciones de su juventud.

En su madurez, Nikola Tesla seguía vistiendo con elegancia y manteniendo su figura elegante e imponente, y a medida que los financieros le dejaban de lado, fue aumentando sus apariciones en la prensa mediante declaraciones llamativas, que en lugar de aumentar el interés por sus proyectos, como él pretendía, solo reforzaban su imagen de profeta idealista. A pesar de todo, una corte de admiradores seguía bullendo a su alrededor, renovándose cíclicamente con nuevos miembros empeñados en rehabilitarle y prodigarle honores.

Durante los últimos estertores de Wardenclyffe, Tesla trabajó en una serie de inventos de comercialización rápida, como un cuentakilómetros de fricción de aire para coches, el primero y entonces único dispositivo de este tipo en todo el mundo, que se instaló en modelos de lujo de las marcas Packard, Lincoln y Pierce-Arrow. También puso en marcha proyectos más ambiciosos, convencido de que serían su mejor alternativa para volver a la primera línea. Fueron los últimos destellos de su genialidad.

En 1909, Guglielmo Marconi y el alemán Karl Ferdinand Braun (1850-1918) habían recibido el premio Nobel de Física por sus investigaciones para el desarrollo de la radio. Tesla se enzarzó con el italiano en una larga lucha judicial que acabó perdiendo. Tendrían que pasar más de treinta años hasta que, en 1943, el Tribunal Supremo de Estados Unidos revocara el fallo anterior,

favorable a Marconi, y reconociera los méritos de Tesla como pionero de la radio, ante el hecho evidente de que sus competidores habían basado el invento en las patentes del serbio. El fallo, sin embargo, llegó demasiado tarde: Tesla había fallecido unos meses atrás. A pesar de este reconocimiento intempestivo, todavía hoy la mayoría de obras de referencia, publicaciones divulgativas y libros de texto atribuyen la invención de la radio a una larga lista de personajes dispares que varía según el país donde se ha redactado el texto.

LA TURBINA TESLA

Una de las primeras evocaciones de infancia de Tesla era su intento de diseñar un motor de vacío capaz de producir el movimiento continuo, que le llevó a fabricar una pequeña noria sin paletas. El inventor recordaba perfectamente cómo llegó a poner en marcha un modelo en un riachuelo cercano a su casa. El último invento del que logró hacer prototipos estaba inspirado en aquellas ideas que había concebido de niño.

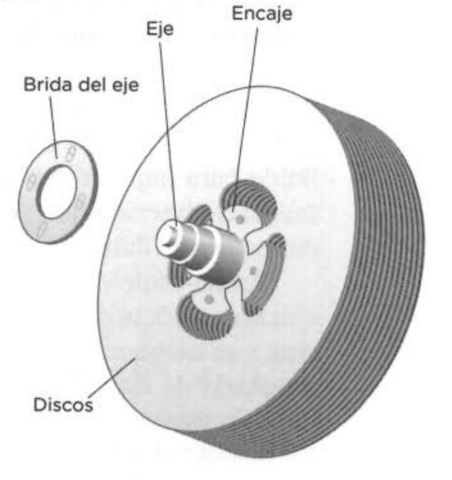
Hacia 1906 diseñó una turbina sin aspas que funcionaba con aire o vapor sobre discos planos de metal, y podía mover más cantidad de fluido a más velocidad en virtud de su ductilidad y menor rozamiento, al tiempo que podía invertir el sentido del giro más rápidamente. Tesla dejó a un lado la noción convencional de que una turbina requería un elemento sólido sobre el que incidieran el aire o el vapor para causar el movimiento. En su lugar, decidió emplear dos propiedades de los fluidos bien conocidas por los físicos que no habían sido explotadas hasta el momento para energizar dispositivos mecánicos, la *adherencia* y la *viscosidad*.

El rotor era el corazón de la turbina. Consistía en un conjunto de discos muy finos de plata alemana montados a lo largo de un eje central. El tamaño y número de los discos dependía de factores relacionados con su aplicación particular. Tesla experimentó con numerosas configuraciones. Los discos estaban espaciados con arandelas de entre 2 y 3 mm, muy apretadas y aseguradas con-

tra la brida del eje mediante una tuerca de latón. En paralelo al eje, los discos disponían de agujeros de escape (figura 1).

El conjunto del rotor estaba alojado en el interior de un estator, esto es la parte estacionaria de la turbina, que consistía en una caja cilíndrica de metal. Para acomodar el rotor, el diámetro de la cámara interior del cilindro debía ser ligeramente más grande que los discos del rotor, dejando un espacio aproximado de unos 6 mm. Cada extremo del estator contenía un cojinete para el eje. El estator también disponía de una o dos entradas, en las que encajaban los inyectores del fluido. El diseño original de Tesla presentaba dos, para permitir que la turbina cambiara de sentido. Según esta sencilla disposición, cuando los inyectores proyectaban fluido en las entradas del estator, este pasaba entre los discos de rotor y lo hacía girar. Finalmente, el fluido salía a través de los puertos de escape en el centro de la turbina (figura 2, en la página 153).

FIG. 1



El rotor de la turbina Tesla consistía en una pila de discos lisos, con una separación entre ellos de muy pocos milímetros, cuya superficie debía recorrer un fluido impulsor para luego desalojar por agujeros de escape .

¿Cómo era posible que la energía de un fluido causara el giro de un disco de metal? Si un disco es liso y no dispone de palas o cucharas para «atrapar» el fluido, la lógica sugiere que simplemente fluirá sobre el disco, dejándolo inmóvil. La explicación, como se ha dicho, se encuentra en las propiedades de adherencia y viscosidad de los fluidos. La adherencia es la tendencia de moléculas diferentes a unirse físicamente debido a fuerzas de atracción. La viscosidad es la resistencia de una sustancia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas. Estas dos propiedades se combinan en la turbina Tesla para transferir energía desde el fluido hacia el rotor o viceversa.

Cuando el fluido pasa por un disco, las fuerzas adhesivas provocan que las moléculas de fluido que están en contacto directo

con el metal reduzcan su velocidad y se adhieran a este. Las moléculas de fluido de la siguiente capa, la inmediatamente superior, chocan con las adheridas y se ralentizan. Así, capa a capa, el flujo se va deteniendo. Sin embargo, las capas más alejadas sufren menos colisiones y por tanto, menos adherencia, y, como al mismo tiempo, las fuerzas viscosas actúan sobre las moléculas del fluido para impedir que se separen unas de otras, se genera una fuerza de tracción que se transmite al disco, que se mueve en la dirección del fluido.

En mecánica de fluidos, la fina capa de fluido que interactúa con la superficie del disco se denomina capa límite, o capa fronteriza, y su interacción se conoce como el efecto capa límite. Como resultado de este efecto, el fluido propulsado sigue una trayectoria en espiral rápidamente acelerada a lo largo de las caras de los discos hasta que encuentra una salida. Debido a que el fluido se mueve de manera natural por el camino de menor resistencia, donde esté libre de limitaciones y fuerzas perturbadoras causadas por aspas o palas, experimenta cambios graduales en la velocidad y la dirección, la cual cosa suministra más energía a la turbina (figura 3). De hecho, Tesla aseguró que su turbina tenía un rendimiento del 95%, un porcentaje muy superior al de las turbinas de la época. Con todo, la aplicación práctica no fue tan fácil y Tesla no logró que los prototipos alcanzaran la eficiencia que afirmaba la teoría.

El concepto tuvo aceptación incluso en el Departamento de Defensa de Estados Unidos, aunque Tesla solo recibió buenas palabras y nada de dinero. Una vez más, necesitaba capital y vendió licencias para fabricar la turbina en Europa, confiando en recoger el dinero suficiente como para hacerlo él mismo en su país, pero los fondos resultaron insuficientes.

Finalmente logró atraer el interés de un grupo de inversores y construyó un prototipo, una enorme turbina Tesla doble accionada por vapor, en la estación neoyorquina de Waterside, controlada por la New York Edison Company. Enseguida se vio que la turbina tenía problemas, al parecer a causa de los materiales utilizados en la fabricación de algunos de los componentes. En aquella época aún no se conocían metales que soportasen una centrifuga-

FIG. 2

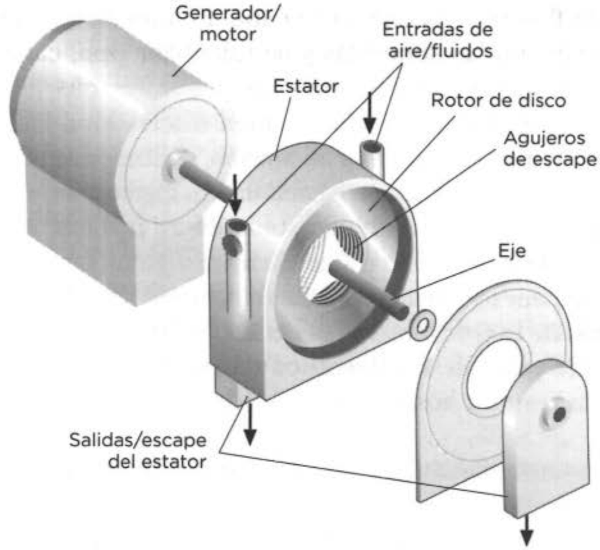
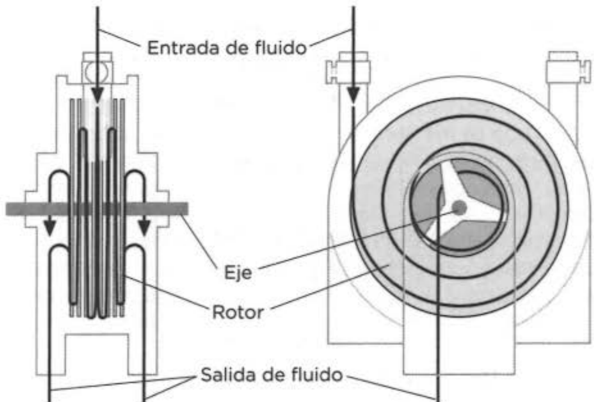


FIG. 3



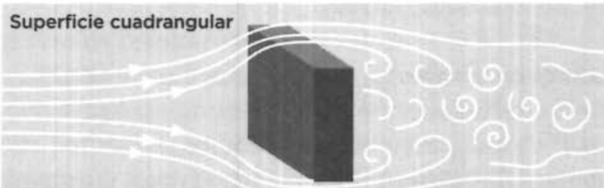
ción tan alta, de unas 35 000 revoluciones por minuto, durante un tiempo prolongado; la desmesurada fuerza centrífuga deformaba el metal de los discos rotatorios. Pero también es cierto que Tesla nunca contó con la simpatía de los ingenieros de la planta, que

proclamaban a los cuatro vientos que su diseño estaba equivocado, ni de los trabajadores, a los que a veces obligaba a hacer horas extras. Tesla no tuvo ocasión de hacer pruebas como es debido ni de perfeccionar el prototipo.

Poco antes del inicio de la Primera Guerra Mundial, intentó convencer al ministro alemán de Marina, el almirante Alfred von Tirpitz (1849-1930), para que Alemania, un gigante industrial, desarrollara un prototipo perfeccionado de su turbina. Aunque finalmente la propuesta no produciría fruto alguno, lo cierto es que aquel era el peor momento para establecer ese tipo de relaciones. El estallido de la Gran Guerra perjudicó a Tesla a todos los niveles. Dejó de percibir los derechos europeos de sus patentes y comenzó a resultar sospechoso por algunas de sus conexiones

LA TEORÍA DE LA CAPA LÍMITE

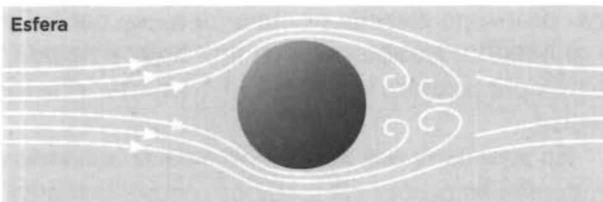
Antes de 1860, el interés de la ingeniería por la mecánica de fluidos se limitaba al flujo del agua. El desarrollo de la industria química durante la última parte del siglo XIX suscitó el interés en otros líquidos que, comparados con el agua o el aire, fueran más viscosos, pero que, sin embargo, ofrecieran gran resistencia a un objeto que se moviera en su seno, y también dirigió la atención hacia los gases. La complejidad de los flujos viscosos, y en particular de los flujos turbulentos, restringió en gran medida los avances en la dinámica de fluidos hasta que el físico alemán Ludwig Prandtl (1875-1953) observó en 1904 que muchos flujos pueden separarse en dos regiones principales: en la región próxima a la superficie, formada por la capa límite, se concentran los efectos viscosos, mientras que en las regiones que quedan fuera de ella, estos efectos pueden despreciarse. El concepto de capa límite ayudó al de-



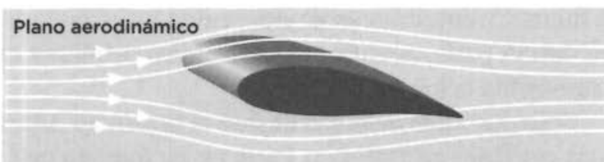
Los objetos planos con aristas marcadas, como una caja, experimentan una elevada resistencia al avance.

con el Viejo Mundo. A aquellas alturas, seguía viéndose afectado todavía por malentendidos y confusiones acerca de su nacionalidad, ahora con el agravante de que había sido precisamente un nacionalista serbio quien había asesinado al archiduque Francisco Fernando en Sarajevo, el detonante que provocó el estallido de la guerra. A menudo las solicitudes de patentes de Tesla recibían la calificación de NIH (siglas inglesas de *Not Invented Here*, «no inventado aquí»), que las relegaba a un canal de gestión más lento. Acerca de la turbina Tesla, un informe gubernamental dictaminó que la turbina Parsons (que sí se había inventado «allí»), llevaba muchos años en funcionamiento sin problemas y, además, el sector industrial no era proclive a hacer el gasto necesario para sustituirla.

sarrollo moderno de la mecánica de fluidos al simplificar los modelos matemáticos con que podía estudiarse la región próxima a la superficie del cuerpo, y llevó a nuevos avances en la teoría del flujo de fluidos no viscosos, que pueden aplicarse fuera de la capa límite. La teoría de la capa límite ha hecho posible gran parte del desarrollo de las alas de los aviones modernos y del diseño de turbinas de gas y compresores.



Los objetos redondos, como una pelota, experimentan una resistencia aerodinámica media.



La forma del ala de un avión minimiza la resistencia aerodinámica.

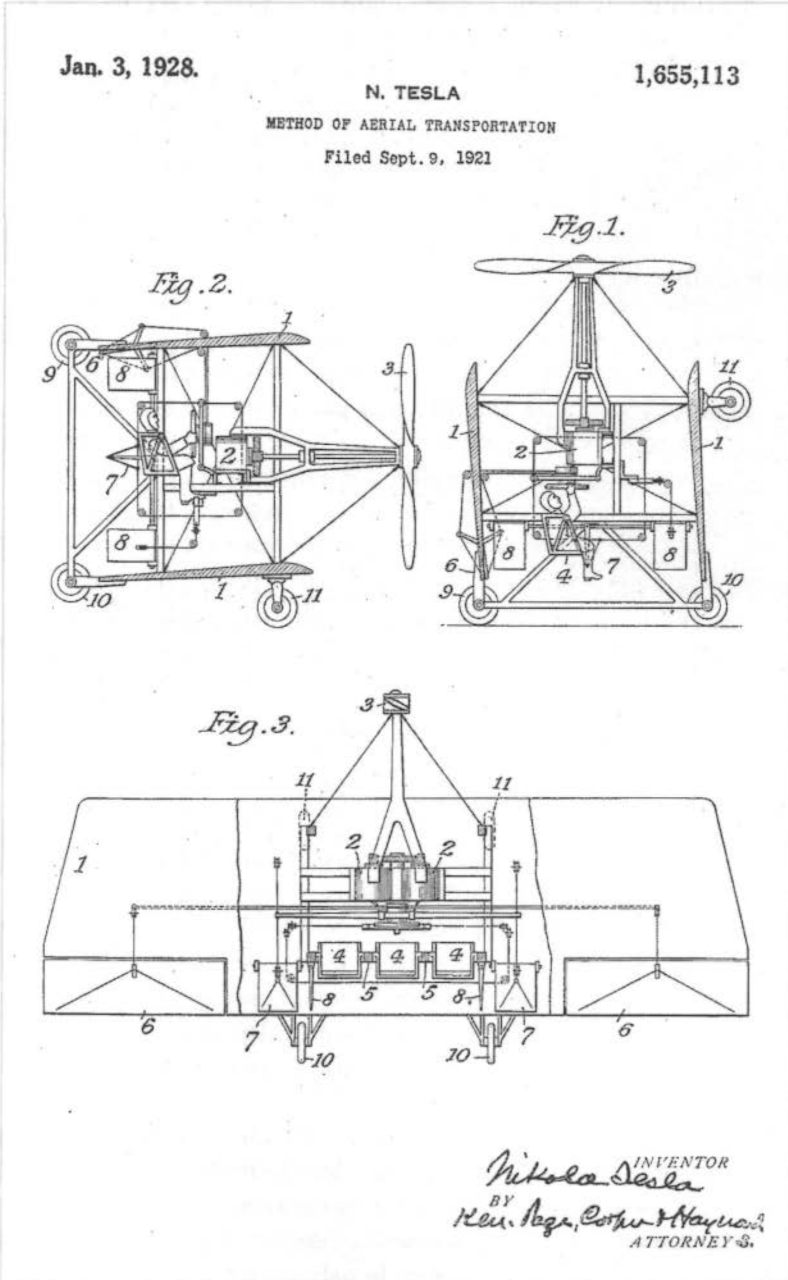
La turbina Tesla cayó en el olvido durante varias décadas. La industria metalúrgica aún tardaría años en desarrollar un metal con la calidad adecuada. Como se ha dicho, algunas de las ideas que puso en práctica Tesla en su desarrollo se encuentran hoy día entre los principios básicos de los motores basados en la mecánica de fluidos. En la actualidad, diversas empresas comercializan modelos perfeccionados de la turbina Tesla, actualizando sus cálculos y validando los beneficios del sistema en cuanto a ligereza, ahorro y eficiencia.

EL AVIÓN DE DESPEGUE VERTICAL

John Jacob Astor evitó a Tesla durante años. Aun así, a pesar de un distanciamiento perfectamente comprensible, puede intuirse su intervención en la tolerancia que el hotel Waldorf-Astoria mostró con la deuda de Tesla con el establecimiento, que no hacía más que aumentar. En 1908 llegó la reconciliación. Astor no solo perdonó y olvidó el uso engañoso que Tesla había hecho de su dinero, sino que volvió a financiar a su viejo amigo para que desarrollara sus proyectos sobre propulsión aeronáutica, cuyo prototipo estrella era una idea que había llevado consigo en el bolsillo, garabateada en una hoja arrugada, cuando puso los pies por primera vez en Estados Unidos: el avión de despegue vertical.

En aquella época los pioneros de la industria de la aviación mantenían su propia competición, como en tantos otros campos de la innovación científica y técnica del momento. Los inicios de la aviación vieron una cascada de ensayos más o menos exitosos y a menudo simultáneos en diferentes localizaciones geográficas, que darían paso, apenas culminaran las primeras experiencias, a la previsible eclosión del sector.

Solo dos años después de que el brasileño Alberto Santos Dumont realizara su vuelo en París en su famoso avión, el *14-bis*, y los hermanos Wright patentaran su aeroplano en Estados Unidos, Tesla concibió un avión que podía despegar y aterrizar en el te-



Dibujos de la patente 1665113 de Tesla, que muestran la estructura y el funcionamiento de su «avión-helicóptero», el antecesor de los modernos VTOL, los aviones de despegue vertical.

jado plano de un edificio, en un patio o en la cubierta de un barco, propulsado por su novedosa turbina, y capaz de alcanzar altas velocidades. Llevaba años preparando diseños avanzados de aviones y motores aeronáuticos, aunque no había presentado ninguna solicitud de patente. En varios textos publicados en la prensa, un medio en el que se había convertido en un inveterado polemista, se lamentaba del penoso desarrollo de la aviación, a la que anticipaba un gran futuro.

El diseño de Tesla presentaba un aparato que podía despegar prácticamente en vertical gracias a una hélice similar a la que se utiliza hoy en día en los helicópteros. Una vez en el aire, esta se recolocaba mecánicamente en la parte delantera, y el asiento del piloto giraba para mantenerse en posición vertical, mientras las alas se situaban horizontalmente; entonces la turbina Tesla, potente pero ligera, impulsaría el avión a velocidades inconcebibles para los primeros aviadores, que aún luchaban por no romperse el cuello en vuelos de prueba de unos pocos minutos. En la propia patente el inventor daba a su modelo el nombre de «avión-helicóptero», y desgranaba hasta el último detalle matemático sobre la relación de fuerzas en virtud de la cual los movimientos de su aparato eran perfectamente posibles (véase la figura de la página anterior).

Una vez más, la adversidad se interpuso en el camino de Nikola Tesla. La trágica e inesperada muerte de John Jacob Astor en el naufragio del transatlántico británico *Titanic* le arrebató un amigo generoso y fiel, y deshizo fatalmente sus ya precarias finanzas. A causa de sus múltiples problemas económicos el inventor no estuvo en posición de presentar las solicitudes de patentes de sus diseños aeronáuticos hasta los años 1920. Se aprobaron en 1928, cuando tenía setenta y dos años. Nunca logró construir un prototipo que demostrara la viabilidad de sus ideas en ese campo.

La noción del despegue vertical cayó en el olvido hasta comienzos de la década de 1950, cuando algunas compañías aeronáuticas punteras, como Lockeed, ensayaron con aparatos que, si bien eran mucho más sofisticados, seguían al pie de la letra los principios básicos contenidos en la patente de 1928. Las ideas de

JOHN JACOB ASTOR



J.J. Astor (1864-1912) era el cuarto en la línea de la primera familia de multimillonarios de Estados Unidos, y también un personaje peculiar: escritor de novelas de ciencia ficción, coronel en la guerra de Cuba y con algo de espíritu inventor, pues había desarrollado algunas patentes notables, como un freno para bicicleta. Pero sobre todo fue el gran maestro de ceremonias de la alta sociedad de Nueva York durante el cambio del siglo XIX al XX, y un inversor extremadamente hábil en negocios inmobiliarios. Fue el promotor de la construcción del Waldorf-Astoria, todo un monumento *art déco*, el hotel más lujoso y moderno de Nueva York y el primero en trascender el mero alojamiento para viajeros y transformarse en un centro de actividad social; en sus salones sucedía todo. A los cuarenta y siete años se casó en segundas nupcias con una joven de dieciocho, causando un escándalo en la sociedad neoyorquina. Prolongó su luna de miel en África y Europa durante ocho meses, en los que la joven esposa quedó embarazada, y decidió regresar aprovechando que el mayor transatlántico del mundo, el *Titanic*, se disponía a emprender su viaje inaugural con gran pompa. El millonario estaba despierto en su camarote cuando a las 23:40 del 14 de abril de 1912 el barco chocó con un iceberg en medio del Atlántico. Astor logró llevar a su esposa hasta un bote salvavidas, pero no pudo subirse a él. Su cadáver fue hallado días más tarde. A pesar de contar con lo último en lujo y comodidad, el buque se regía por las precarias normas de seguridad de la época y solo disponía de botes salvavidas para un tercio de los pasajeros.

Tesla son reconocibles en todos los modelos de aviones de despegue y aterrizaje vertical, llamados VTOL por sus siglas inglesas *(Vertical Take-Off and Landing)*, que se construyeron en años posteriores. De todos modos, a causa de su costo, esta tecnología, que Tesla ideó para todo tipo de aeronaves, quedó restringida a un uso militar.

CONTROVERSIAS Y HONORES

La gran disputa por la paternidad de la radio se libró en los tribunales, como todas las demás. La primera andanada la lanzó Marconi en mayo de 1915 demandando a una empresa llamada Atlantic Communication Company por uso no autorizado de sus patentes. Molesto por ello, en agosto del mismo año Tesla le demandó por «apropiación indebida de los aparatos y diseños registrados a nombre de Nikola Tesla en la oficina de patentes».

En la vista de la demanda de Tesla contra Marconi, el físico serbio Michael Pupin, que anteriormente había defendido a su compatriota, se puso de parte del italiano. Al cabo de tres años de enfrentamientos legales, Tesla perdió la demanda. Por enojoso que resultara para él tener que reconocerlo, Marconi había sabido sorprender al mundo y ganarse a la opinión pública.

La polémica no acabó ahí. Algún tiempo después la Marconi Wireless Telegraph Company of America demandó al mismísimo Gobierno de Estados Unidos por usar sus patentes durante la Primera Guerra Mundial. Tras una controversia de varias décadas que solo sirvió para confundir al público, la demanda de la compañía Marconi contra el Gobierno llegó al Tribunal Supremo de Estados Unidos en 1943. Marconi había presentado su primera solicitud el 10 de noviembre de 1910, siendo rechazada en favor de un formulario anterior de sir Oliver Lodge; mientras que la primera patente radiofónica de Tesla, la número 645576, se solicitó el 2 de septiembre de 1897 y fue aprobada el 20 de marzo de 1900, fecha muy anterior. Por otro lado, Tesla poseía esquemas relativos a la comunicación sin cables que había presentado en sus conferencias de 1893. En 1900 había publicado un artículo en *The Century Magazine* y otro en 1904 en *Electrical World and Engineer*, describiendo la radio de un modo que ninguno de los demás pioneros la concibió, no solo como un sistema de envío de información de un punto a otro, sino tal y como se conoce actualmente.

> No albergo la menor duda acerca de su eficacia para instruir a las masas, especialmente en regiones remotas [...]. Como punto de partida es preciso disponer de varias centrales para transmitir las seña-

EL ASUNTO DEL NOBEL

El 6 de noviembre de 1915 el diario *New York Times* publicó en primera página que, según la agencia Reuters, Tesla y Edison habían sido nominados para compartir el premio Nobel de Física. Acosados por los periodistas, ambos declararon que no habían recibido ninguna comunicación oficial al respecto, sin embargo, en la prensa de todo el mundo circuló la noticia. El *New York Times* llegó a dar el hecho como seguro. Finalmente, el 14 de noviembre el comité del premio comunicó desde Estocolmo la concesión del Nobel de Física a los británicos William Henry Bragg y William Lawrence Bragg, padre e hijo, por su aportación al análisis de la estructura de los cristales mediante rayos X, lo que hoy se conoce como cristalografía de rayos X. Los comentarios se desataron al punto: algunos aseguraban que Tesla se había negado a compartir el premio con Edison y otros afirmaban lo contrario. La Fundación Nobel manifestó en un comunicado que los rumores carecían de fundamento y que nadie había rechazado nada, pero no aclaró si en algún momento los dos personajes enfrentados se habían contemplado como candidatos.

> les [...] que se localicen en lugares próximos a núcleos civilizados importantes para que las noticias que allí lleguen por cualquier canal se retransmitan a cualquier punto del globo. Cualquier persona, en mar o en tierra, con un aparato sencillo y barato que cabe en un bolsillo, podría recibir noticias de cualquier parte del mundo o mensajes particulares destinados solo al portador. La Tierra se asemejaría a un inconmensurable cerebro, capaz de emitir una respuesta desde cualquier punto.

El desarrollo futuro de la radio seguiría en su mayor parte la senda trazada por las patentes y los conceptos de Nikola Tesla. Así lo reconoció oficialmente el Tribunal Supremo en junio de 1943, seis meses después de la muerte del inventor.

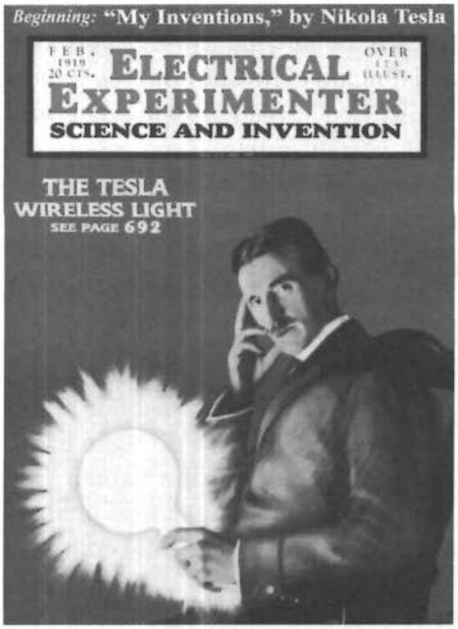
Sin embargo, no es cierto que Tesla jamás recibiera en vida ningún tipo de reconocimiento. A medida que se retiraba de la primera línea, fue recibiendo honores por parte de sus colegas de profesión. En 1917, el vicepresidente del AIEE, Bernard Behrend, propuso que se otorgara a Tesla el máximo galardón que un

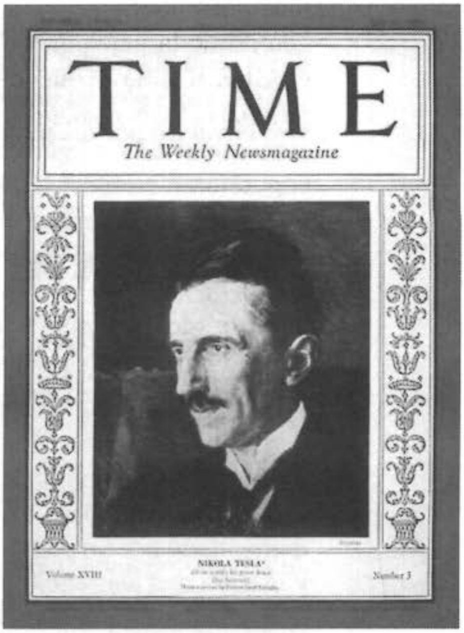
ingeniero podía desear y que aún hoy día se puede recibir en el campo de la ingeniería electrónica: la medalla Edison. Pero que el AIEE aceptara conceder la distinción al inventor no fue lo más difícil; el mayor logro fue convencerlo a él de que no la rechazara.

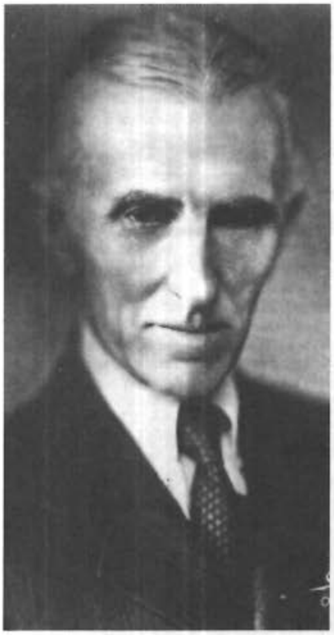
La entrega se hizo en el Club de Ingenieros de Nueva York, situado frente al parque Bryant. Acudieron los representantes más destacados de la AIEE, a excepción de Edison, que no aparecía jamás en este tipo de actos. El homenajeado vestía de gala, y su altura seguía concentrando todas las miradas. Primero se ofrecía una cena y luego se celebraba una ceremonia con los discursos de costumbre. A la hora de comenzar los parlamentos los organizadores advirtieron que el invitado de honor había desaparecido. Lo buscaron por todas partes, incluso en los lavabos. No aparecía por ningún lado.

Behrend, que conocía sus peculiares hábitos, recordó que el parque Bryant era uno de los lugares favoritos de Tesla para dedicarse a un pasatiempo al que se había aficionado últimamente: dar de comer a las palomas. Se acercó al parque y encontró a un grupo de paseantes reunido alrededor de alguna clase de espectáculo. Abriéndose paso entre la gente, descubrió a Tesla, con su elegante traje negro, completamente cubierto de palomas. Las aves, que en aquella época ya eran despreciadas como animales sucios y portadores de enfermedades, le saltaban por la cabeza, picoteaban sus manos en busca de comida y le recorrían los brazos. El inventor aún tardó un rato en sacudirse las palomas y volver al salón donde le aguardaban discursos y una medalla que llevaba el nombre de quien había sido en otros tiempos su enemigo más acérrimo.

Al contrario de lo que Tesla había imaginado cuando se le hizo la propuesta, los discursos de los miembros del AIEE no escatimaron alabanzas. Tal vez el reconocimiento llegaba a destiempo, sin ningún impacto en la opinión pública ni en el clima empresarial e industrial del país, pero al fin y al cabo, era expresado con sinceridad. Tesla se sintió conmovido y, al llegar su turno, se sorprendió a sí mismo recordando en términos elogiosos la figura de Thomas Alva Edison. Explicó su primer encuentro, describiéndolo como «un hombre excepcional, que, sin formación teórica ni otros re-







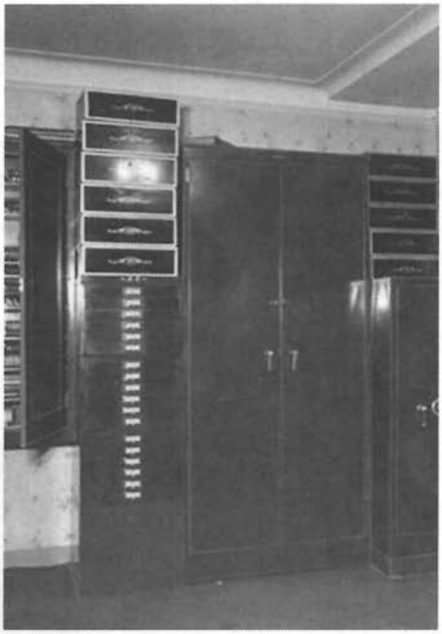


FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Tesla en la portada de la revista *Electrical Experimenter* en 1919.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
La revista *Time* dedicó una portada a Tesla con motivo de su 75 cumpleaños.

FOTO INFERIOR IZQUIERDA:
En 1934 apareció en *Scientific American* la foto de un Tesla visiblemente envejecido.

FOTO INFERIOR IZQUIERDA:
Tesla guardaba en su habitación del hotel New Yorker la documentación sobre el trabajo de toda su vida.

cursos, se alzó por su aplicación y constancia, por sus propios medios». Aquella noche, según confesaría a su primer biógrafo, John O'Neill, regresó a su hotel embriagado por los aplausos y, por una vez, envuelto por un sentimiento de paz con el mundo.

LOS PRINCIPIOS DEL RADAR

Tras muchos avatares, Wardenclyffe fue demolido en 1917. Los diarios explicaron que el Gobierno estadounidense temía que las instalaciones fueran utilizadas por espías alemanes, aunque la verdad era que su nuevo dueño intentaba rentabilizar de algún modo los escombros. Los últimos años antes del derribo habían sido muy dificultosos para Tesla. La compañía Westinghouse le había demandado por no pagar el alquiler de la maquinaria del complejo y obtuvo una sentencia favorable que saldó requisando todas las máquinas que quedaban. Aquella no era la compañía que Westinghouse había fundado. Como le sucediera a Edison a manos de Morgan, el magnate de Pittsburg había perdido el control de su propia empresa. Moriría poco después.

«Todo mi dinero lo he invertido en experimentos para realizar nuevos descubrimientos que permitan a la humanidad vivir un poco mejor.»

— Nikola Tesla.

En su estrategia de captación de millonarios, Tesla se había negado a renunciar a su oneroso alojamiento en el Waldorf-Astoria, aunque hacía mucho tiempo que no podía pagarlo. Para cubrir gastos, en 1915 había tenido que suscribir dos hipotecas sobre los terrenos de Wardenclyffe a favor del nuevo propietario del hotel. El inventor había intentado que la operación no se inscribiera en el registro para no ver hundida su credibilidad si llegaba a hacerse pública, pero las apariencias duraron poco tiempo. En 1916 un juez de Nueva York le sentó en el banquillo por el impago de los

impuestos municipales de Wardenclyffe. Irónicamente, el importe, menos de 1 000 dólares, era incomparablemente más bajo que la mayoría de las deudas del inventor y, sin embargo, fue la causa de que se destapara su insolvencia. Bajo juramento, el inventor tuvo que admitir que había vivido a crédito en el Waldorf-Astoria, que le asfixiaban las deudas y que carecía de cualquier tipo de activo; estaba en bancarrota. La noticia apareció en la primera plana de muchos periódicos.

A partir de entonces, el trabajo de Tesla fue solo teórico. Nunca vería materializarse sus ideas, aunque continuó dándoles forma sin descanso, pergeñando algunas aportaciones de importancia. En aquel mundo recientemente sacudido por la guerra, comenzó a pensar en un invento que resultaría esencial un cuarto de siglo después. En la revista *The Century Magazine* escribió:

> Las ondas estacionarias [...] son mucho más importantes que la telegrafía sin hilos a cualquier distancia. Gracias a ellas, podemos producir una señal eléctrica en cualquier punto del planeta, determinar la posición relativa o la trayectoria de un objeto en movimiento, como un barco en alta mar, la distancia que ha recorrido o la velocidad a que se desplaza...

En 1917, la revista *The Electrical Experimenter*, que dos años más tarde publicaría su autobiografía, presentó un artículo suyo anticipando y añadiendo datos técnicos muy detallados sobre el uso de las ondas electromagnéticas para la localización de barcos y submarinos:

> Si lanzamos un sutil haz de diminutas cargas eléctricas que vibren a altísima frecuencia, millones de ciclos por segundo, y el rayo se encuentra con un objeto en su trayectoria, como el casco de un submarino, y somos capaces de que ese rayo que acaba de chocar se reflecte, iluminando una pantalla fluorescente, como la de los rayos X, habremos resuelto el problema de cómo localizar un submarino sumergido. Por fuerza, dicho haz eléctrico habrá de tener una longitud de onda extremadamente corta, y aquí es donde nos encontramos con la principal complicación: cómo conseguir una longitud de onda

tan corta y la gran cantidad de energía que se precisa para lanzarlo. Una posibilidad sería enviar el rayo de exploración de forma intermitente, lo que nos permitiría dirigir un formidable haz de energía eléctrica oscilatoria.

Estaba describiendo los principios básicos de los radares militares modernos. Paradójicamente, se preocupaba de la guerra librada en el mar —ya que en aquel momento la posibilidad de un bombardeo aéreo masivo resultaba, por fortuna, bastante lejana—, cuando en realidad los principios que presentaba describían las características del radar aéreo por pulsos que solo estuvo listo pocos meses antes de la Segunda Guerra Mundial, cuando varias naciones lo desarrollaron en secreto, convirtiéndolo en un arma defensiva indispensable. Asimismo, cuando se inventó el sonar, sus postulados tampoco estaban lejos del concepto de radar que había propuesto Tesla.

NACE EL MITO

A finales de los años veinte en todos los países entonces industrializados se habían construido motores de inducción y equipos de transmisión de energía eléctrica con el nombre de Tesla con un coste de unos 50 000 millones de dólares. A pesar de las confusiones y malentendidos, el inventor era reconocido como pionero de la radio y de la automatización. La mayoría de las universidades disponían de bobinas Tesla en sus laboratorios y existían casi setecientas patentes con ese nombre, muchas de ellas anteriores a 1900. Con todo, la decadencia del inventor era inevitable.

Tras su deshonrosa salida del Waldorf-Astoria después de veinte años de residencia, Tesla fue peregrinando de hotel en hotel, a veces despedido por no pagar y otras a causa de las molestias que causaban sus palomas, pues se había aficionado a alojarlas en su misma habitación. Sus colegas incondicionales con capacidad económica le ayudaban a saldar sus cuentas; en otras ocasiones la deuda se añadía a la larga lista del inventor. Su corte

de admiradores equilibraba la situación con una intensa actividad de homenajes, entre los que destacaban doctorados honoríficos en universidades de todo el mundo. Durante el período de entreguerras se aproximaron a él algunas personalidades políticas de su país de origen buscando utilizar su figura para provecho propio. A pesar de lo obvio de sus intereses, el inventor se dejó querer.

Toda una era de la ciencia tocaba a su fin. Una generación de científicos de nuevo cuño, en su mayoría profesores universitarios, se estaba abriendo camino para dejar atrás definitivamente a sus antecesores, sobre todo a aquellos que, en un mundo en creciente especialización, habían desarrollado una actividad combinada entre la ciencia y la técnica, como Tesla, que era físico e ingeniero, o Edison, que era químico e inventor. Los nuevos físicos discutían sobre la dualidad onda-partícula, sobre la cuántica y sobre la teoría especial de la relatividad. Tesla creía que la energía atómica era una moda pasajera y que los relativistas no recitaban más que monsergas: «La curvatura del espacio es imposible, porque en su seno se producen acciones y reacciones de forma que una curva se vería compensada por una recta». En eso, como en muchas de sus consideraciones teóricas sobre las ondas electromagnéticas, estaba equivocado. A pesar de ello, los científicos del átomo nunca le negaron elogios; muchos reconocieron su influencia. El mismo Albert Einstein le presentó sus respetos por carta en su setenta y cinco cumpleaños:

> Querido señor Tesla,
> Me alegra oír que está a punto de celebrar su setenta y cinco cumpleaños, lo cual, como el exitoso pionero en el terreno de las corrientes de alta frecuencia que es, le ha permitido asistir al maravilloso desarrollo de este campo de la tecnología. Le felicito por el magnífico éxito de su trabajo de toda una vida,
> Albert Einstein

Tesla sobrevivió físicamente a todos sus antagonistas. Edison falleció en 1931, Pupin en 1935 y Marconi en 1937, a los sesenta y tres años. Aquel mismo año, cuando Tesla cruzaba la calle a

LA UNIDAD TESLA

En 1960 el Sistema Internacional de Unidades estableció el tesla (T) como unidad de medida de la densidad de flujo de campo magnético, también denominado campo magnético. Esta unidad representa explícitamente la relación de interacción entre campos magnéticos y cargas en movimiento. Se define como que una partícula con carga de 1 C (culombio) con una velocidad de 1 m/s perpendicular a un campo magnético de 1 T (tesla) recibe una fuerza de Lorentz de 1 N (newton):

$$T=1\frac{kg}{As^2}=1\frac{Vs}{m^2}.$$

medianoche para dar de comer a las palomas de un parque, le atropelló un taxi que le envió a varios metros de distancia. Con su tozudez habitual, se negó a ir al médico, aunque se había roto varias costillas y lesionado la columna, y se recluyó en su habitación durante varios meses. El accidente precipitó el deterioro final de su salud.

A los ochenta y un años pudo olvidar de manera definitiva su angustia económica. El Gobierno yugoslavo, por mediación del recientemente inaugurado Instituto Tesla de Belgrado y con la aportación a título personal de muchos de sus compatriotas, firmó un acuerdo para asignarle una pensión vitalicia de 7 200 dólares anuales. Tesla no tuvo que preocuparse nunca más de sus deudas ni sus gastos, aunque era ya muy tarde.

El invierno de 1942 le dejó en un estado de salud muy precario. El 7 de enero de 1943 una empleada de la limpieza lo encontró muerto en su habitación, la 3327 del hotel New Yorker. Tenía ochenta y seis años, y según el informe forense había fallecido a causa de una trombosis coronaria mientras dormía. Se le dedicó un funeral de Estado, al que asistieron grandes personajes del mundo científico e industrial, así como políticos, representantes de los emigrantes y refugiados serbios y croatas residentes en Estados Unidos, y unas dos mil personas más. Aunque el mundo estaba de nuevo en guerra, llegaron telegramas de todos los rinco-

nes, llenos de alabanzas, y los medios de comunicación se detuvieron por un momento para ofrecer homenajes al inventor.

Dos días después, el 9 de enero, el FBI ordenó a la Oficina de Propiedad Extranjera que requisara todos los documentos de Nikola Tesla para estudiarlos con detenimiento. El Gobierno estadounidense quería despejar dudas sobre algunas de las últimas declaraciones del inventor, magnificadas por la prensa, como aquellas en que afirmaba haber desarrollado «el rayo de la muerte». Sin embargo, no parecía probable que nada de aquello existiera. Se ha dicho que algunos papeles se perdieron en el tránsito por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, y la cultura popular ha querido ver en ello teorías conspirativas de todo pelaje. Sin embargo, después de que los técnicos del Gobierno estadounidense estudiaran los papeles, los devolvieron al sobrino de Tesla, diplomático del Gobierno yugoslavo, y este los trasladó a la fundación de Belgrado. Es cierto que la devolución se demoró varios años, pero en todo caso, no parece que los papeles de Tesla contuvieran nada que no se conociera ya.

El mito de Tesla había comenzado a escribirse mucho antes de su desaparición. Tras su muerte, la leyenda de su visionaria concepción del futuro y del papel de la ciencia en la historia de la humanidad no hizo más que agrandarse. La posteridad se ha encargado de hacer que la predicción que lanzó en sus últimos años sobre su propia aventura y sus antagonistas sea la más certera: «El presente les pertenece. El futuro, para el que yo trabajo, será mío».

Lecturas recomendadas

ALLÈGRE, C., *Diccionario del amante de la ciencia*, Barcelona, Paidós, 2008.

ANGIER, N., *El canon*, Barcelona, Paidós, 2008.

ASIMOV, I., *Nueva guía de la ciencia: ciencias físicas*, colección Biblioteca de Divulgación Científica, Barcelona, RBA, 1993.

BODANIS D., *El universo eléctrico*, Barcelona, Planeta, 2006.

BRYSON, B., *Una breve historia de casi todo*, Colección Biblioteca de divulgación científica, RBA, Barcelona, 2004.

CHENEY, M., *Tesla: el genio al que le robaron la luz*, Madrid, Turner, 2009.

GAMOW, G., *Biografía de la física*, Madrid, Alianza Editorial, 2007.

GRIBBIN, J., *Historia de la ciencia, 1543-2001*, Barcelona, Crítica, 2003.

MARTIN, T.C., *The Inventions, Researches and Writings of Nikola Tesla*, Hong Kong, Forgotten Books, 2012.

O'NEILL, J., *Prodigal genius*, Nueva York, Cosimo, 2006.

RIBEIRO DA LUZ, A.M. Y ALVARENGA, B., *Física general*, México DF, Oxford University Press, 1998.

SERWAY, R.A., *Física* (tomo II), México DF, McGraw-Hill, 1997.

TESLA, N., *Yo y la energía*, «Mis inventos» (1919), «El problema de aumentar la energía humana» (1900), Madrid, Turner, 2011.

Índice